

袖珍永磁端引出 PIG 离子源

于金祥

(北京大学重离子物理研究所, 100871)

介绍了一个袖珍永磁端引出 PIG 离子源, 它可用于产生各种气体的单电荷和多电荷离子, 在不大于 30W 的放电功率下, 可引出 mA 级离子流, 源的阴极寿命大于 200h。

关键词 永磁 袖珍 PIG 源 多电荷离子

自从 80 年代初法兰克福型 PIG 源问世以来^[1], 已被多家选用在静电加速器和高能离子注入机上。为节省功率、简化结构、便于操作, 我们发展了适于产生多电荷气体离子的袖珍永磁端引出 PIG 离子源。该源用 CeCoCu 环形永磁体取代法兰克福 MINI-PIG 源上的电磁线圈, 以提供源所需的约束磁场。改进后的源主要性能与法兰克福 MINI-PIG 源类似, 在高弧压 (1—3kV)、小弧流 (小于 10mA) 的放电模式下, 在工作气体为 N₂ 时, 氮原子离子比一般为 15%—20%, 比法兰克福 MINI-PIG 源略高。而在低弧压 (500V 左右)、大弧流 (数十毫安) 的放电模式下, 原子离子比可高达 40%—50%。在 Ar 放电时, Ar²⁺/Ar⁺ 为 1/10, 两者相近。通常该源在 15%—20% kV 的引出电压下, 可获得毫安级离子流, 功耗小于 30W。通过对不同阴极材料和放电室结构研究表明, 选取适当阴极材料和放电室结构材料及几何形状, 对该源的放电稳定性和放电模式有着重要影响。

1 源的描述

源的结构如图 1 所示, 其外廓尺寸为 $\phi 75 \times 80$ mm, 重量仅为 1.67kg。源的磁场由尺寸为 $\phi 69 \times \phi 42 \times 14$ mm 的 CeCoCu 永磁环产生。在两阴极 K₁ 和 K₂ 间的磁场分布如图 2 所示, 在这一区间最小磁场强度大于 0.08T。阴极和对阴极间距 18mm, 较法兰克福 PIG 源略小。两个阴极的外廓尺寸均为 $\phi 6 \times 3$ mm, 在对阴极上开有 $\phi 3 \times 3$ mm 的离子溢出孔。阴极材料可采用 Ta、W、Mo、Ti、Zr、LaB₆ 及石墨等, 目前我们试用了 Mo-Mo、Mo 嵌 Al-LaB₆ 阴极。阳极为 $\phi 14 \times 6 \times 14$ mm 的石墨或不锈钢圆筒。源体取阴极电位, 阳极与源体间采用可加工陶瓷环绝缘, 源体和阳极筒径向间距以取 0.5mm 为宜。源工作时靠自然冷却或简易风冷即可。源的放电参数控制仅靠改变弧压和进气量来实现, 因此, 操作简便, 非常适于用在静电加速器和低流强注入机上。

收稿日期: 1994-07-08 收到修改稿日期: 1994-09-20

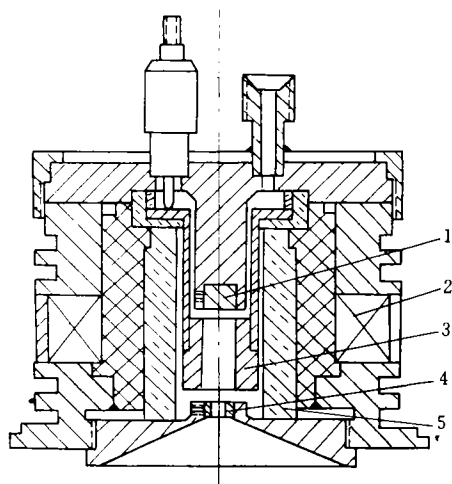


图1 袖珍永磁 PIG 离子源

Fig. 1 A pocket end extraction PIG ion source with permanent magnet

1—阴极 K_1 ; 2—CeCoCu 永磁体; 3—阳极;
4—对阴极 K_2 ; 5—不锈钢衬筒

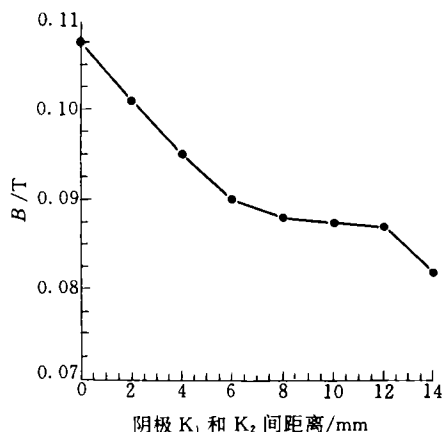
图2 袖珍永磁 PIG 源阴极 K_1 和 K_2 之间的轴向磁场分布

Fig. 2 The axial magnet field distribution between cathode K_1 and K_2 of the pocket PIG ion source with permanent magnet

2 实验结果分析

2.1 放电和引出特性

源的实验是在 L-350 离子源实验台上进行的。到目前为止已作了 N_2 、Ar 的放电引出实验。图 3 和图 4 分别给出了工作气体为 Ar、采用 Mo 阴极时的放电和引出特性,由图 3 可见,当进气量一定,固定放电电流和引出电压时,随着放电电压的升高,引出电流有两个极值,而后一个极值点是不稳定工作点,即弧压稍许增加,弧流急剧增大,而导致击穿失控。在我们目前的引出系统下,引出离子电流随着引出电压的增加而增加并渐趋饱和。在 N_2 放电时,有与 Ar 放电时相类似的结果。采用高弧压 ($V_a \sim 2kV$)、小弧流 ($I_a < 10mA$) 放电模式,氮原子离子比约 15% (图 5),当 $I_a > 10mA$ 时,随着弧流增加和放电模式转换,氮原子离子比升高,直至 50% 左右。

2.2 放电模式的转换

随着所用阴极材料和进气量的不同,该源可有两种放电模式,其一为高弧压、小弧流,其二为较低弧压(小于 1kV)、较大弧流(几十 mA)放电模式。在一定的进气量下,通常对于 W、Ta、Mo、Ni、Fe 等阴极放电电压较采用 Ti、Zr、Al、LaB₆ 阴极为高。如欲产生多电荷离子需采用第一种放电模式,尽量减少进气量,并选用 Ta、W 或 Mo 阴极,提高放电电压以便有利于多电荷离子的产生。采用这种模式在 Ar 放电中,Ar²⁺ 与 Ar⁺ 之比约为 1:10,在 20kV 的引出电压下,引出总流 1mA 左右。当逐渐增加进气量时,无论采用何种阴极,均呈现放弧流逐渐增大、弧压逐渐减小,而采用 LaB₆ 阴极,这一现象尤为明显。因此,LaB₆ 很适宜用作第二种放电模式下

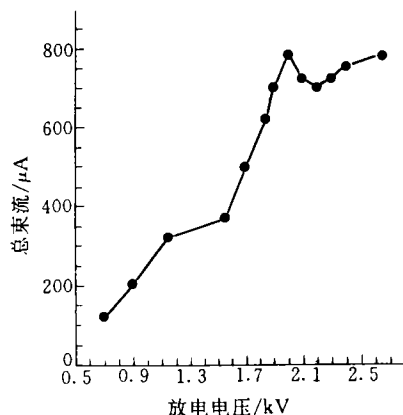


图3 袖珍永磁PIG源放电特性
(进气量一定, $I_a = 5\text{mA}$, $V_{ex} = 20\text{kV}$)

Fig.3 Discharge characteristic of the pocket PIG ion source with permanent magnet under $I_a = 5\text{mA}$, $V_{ex} = 20\text{kV}$ and constant gas flow

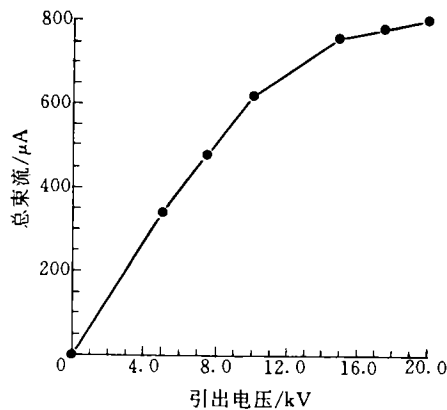


图4 袖珍永磁PIG源引出特性
($U_a = 2\text{kV}$, $I_a = 5\text{mA}$)

Fig.4 Extraction characteristic of the pocket PIG ion source with permanent magnet at $U_a = 2\text{kV}$ and $I_a = 5\text{mA}$

的阴极材料。例如,在第二种放电模式下,对于氮放电,采用 LaB_6 阴极,一般弧流为 30—70mA,弧压 400—500V,原子离子比可达 30%—50%。但这时源的发射度较大,对束流传输不利。无论 N_2 放电还是用 Ar 放电,该源在 4W 左右的弧功率下都可引出 500 μA 的总束流。通常引出 1mA 的束流,总功耗小于 30W。源的寿命在第一种放电模式下,对于 Ta、W、Mo 阴极通常可大于 200h。

2.3 放电室结构材料影响

在该源中如移去不锈钢衬筒(图1),源体非导磁的铜内壁和阳极筒径向间隙之间,在略高于通常的源室工作气压下可产生平滑可调的直至安培级的磁控放电,仅需数分钟就可在阳极筒上镀上一层致密的铜膜,这一现象的利用在实验室范围制备铜膜是很有益的。但这一放电很难引出可用的束流,为免除这一现象,源体非导磁内壁以采用钛或无磁不锈钢(如 1Cr18Ni9Ti)为宜。也可在源体内壁衬以绝缘材料,如:可加工陶瓷

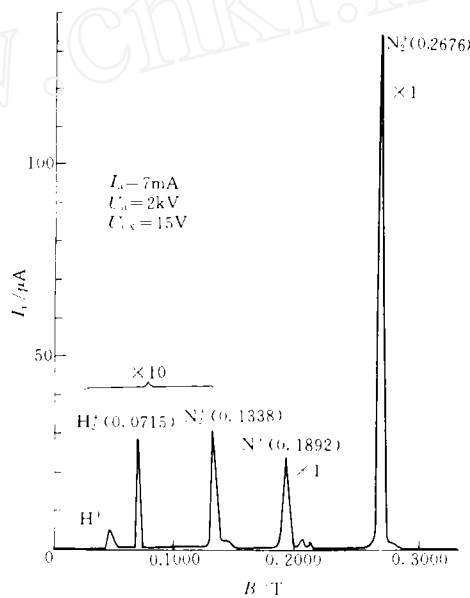


图5 氮放电时引出离子的质谱

Fig.5 Extraction ion spectra at nitrogen gas discharge

或聚四氟乙烯,使放电仅集中在阴阳极轴向间隙中。采用不锈钢衬筒时,在该源体结构下,不锈钢衬筒和阳极筒间距可从6.5mm变到0.5mm。实验表明,筒间距为0.5mm时,该源在高弧压小弧流放电模式下,放电稳定,放电电压高,这对于产生多电荷离子是很有益的。这一现象符合气体放电的帕邢(F. Paschen)定律,因为,放电气压 P 越小,极间隙 D 越小,则 PD 乘积亦越小,当 PD 积小于与最低放电电压对应的 PD 积以后,随着 PD 积的进一步减小,放电电压逐步并急剧提高。但极间隙也不能过小,否则放电产生的沉积物微小碎屑易造成弧短路,而影响源的正常工作。

2.4 PIG源与微波源的转化

由于该源两阴极间平均磁场强度大于0.08T,并且大部分在0.089T以上,这一磁场符合在微波等离子体中的电子回旋共振条件。因此,将源芯部分移去,代以T型天线,该源可改成工作频率为2.45GHz的袖珍微波源或微波等离子体阴极,目前这一工作在筹备进行中。

该源在研制过程中,得到宋执中先生和任晓堂同志的有益帮助和讨论,在此深表谢意。

参 考 文 献

- 1 Baumann H, Bethge K. The Frankfurt PIG Ion Source. Nucl Instrum Methods, 1981, 189:107-110.
- 2 Yu Jinxiang, Song Zhizhong, Ren Xiaotang, et al. Progress of the Pocket PIG Ion Sources With Permanent Magnet at Peking University. Rev Sci Instrum. 1994, 65(4):1337-1339.

A POCKET END EXTRACTION PIG ION SOURCE WITH PERMANENT MAGNET

YU JINXIANG

(Institute of Heavy Ion Physics, Peking University, Beijing, 100871)

ABSTRACT

The present work introduced a pocket end extraction PIG ion source with permanent magnet. It can be used for producing single and multiply charged ions of any gases. About one mA ion beam can be extracted from the source at discharge power less than 30 watts. The cathode life-time of the source is more than 200 hours.

Key words Permanent magnet Pocket PIG ion source Multiply charged ions