

# ECR源的新工作模式

刘占稳 张 汶 赵红卫 袁 平 张雪珍 郭晓红  
李锡霞 周嗣信 王义芳 魏宝文

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

1996-06-25 收稿

## 摘 要

叙述了兰州重离子加速器 ECR2 源所使用的新工作模式的条件、特点及高电荷态离子束的输出性能, 给出了对该模式特点的初步分析.

**关键词** ECR 离子源, 高电荷态离子束, 次级电子发射, 热电子发射.

## 1 引 言

高电荷态 ECR 离子源的使用, 已使兰州重离子加速器的束流品种增加, 加速离子能量提高并改善了加速器的运行效率. 然而, 进一步提高 ECR 源的输出仍是人们普遍关心的问题, 为此在一台 ECR2 离子源上试验成功了一种新工作模式, 该离子源于 1995 年底投入加速器运行至今, 已使加速器的高电荷态流强有了明显提高. 该工作模式的要点是把离子源腔体内的等离子体电极更伸往腔体内, 以实现从较高密度处引出离子, 并设法在腔体的引出端增加额外低能电子注入, 以弥补这里的磁约束损失.

## 2 新工作模式的条件

ECR2 离子源<sup>[1]</sup>的结构示于图 1, 其工作原理为: 10GHz 频率的微波由波导 12 进入离子源的腔体 6 内, 产生并加热等离子体. 离子源的线包形成的磁镜场与六极永磁场的迭加, 在腔体内构成了具有磁场最小值的最佳约束磁场, 从而使等离子体内的离子有充分的条件被游离至高电荷态. 离子最终是从腔体末端的等离子体电极的引出孔被引出. 在传统工作模式下, 该电极的位置是以不破坏完善的磁约束为准, 以便保证被约束等离子体内高电荷态离子的产生. 然而这时在引出孔处离子体密度较低, 故引出离子流受到一定限制. 为解决这个矛盾, 我们尝试把等离子体电极位置伸往腔体, 为了弥补由此带来的等离子体在腔体引出端的额外损失, 又在腔体引出端增加了低能电子注入的措施: 将等离子体电极换成铝材料, 并把内表面镀了铝的薄铝筒嵌套在腔体内壁上. 根据国外的试验结果<sup>[2]</sup>, 铝氧化后形成的氧化膜, 是很好的次级电子发射材料. 我们不是直接把

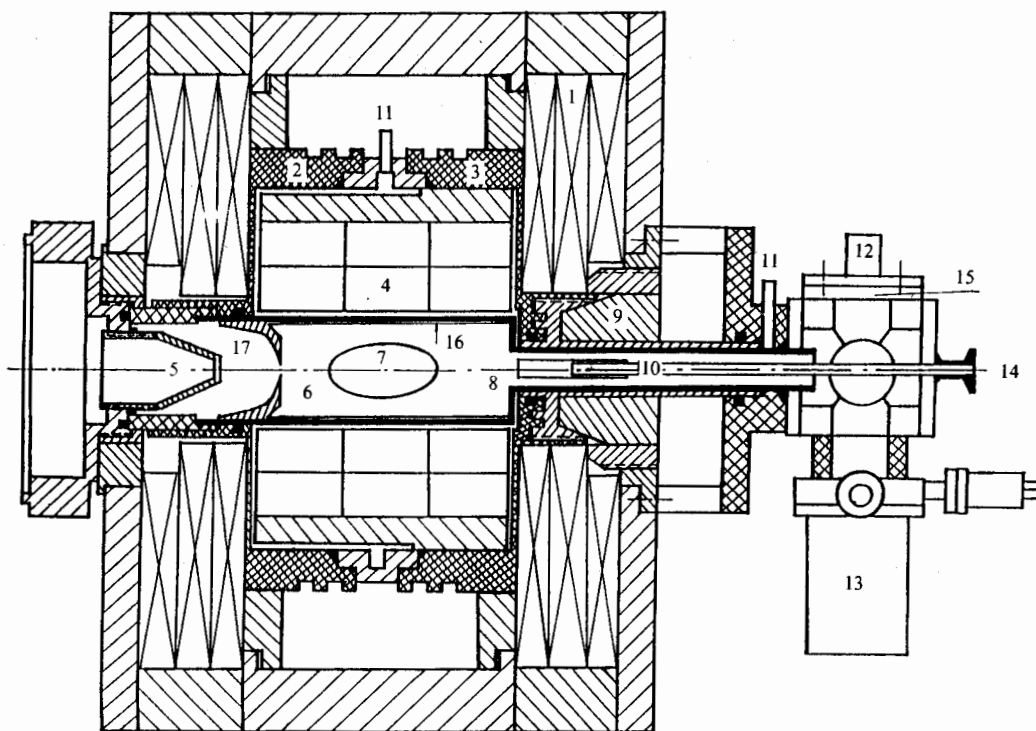


图1 ECR2离子源

- 1 线包, 2 引出端绝缘罩, 3 注入端绝缘罩, 4 六极永磁体, 5 吸极, 6 等离子体腔,  
7 ECR面, 8 石英管, 9 锥形环, 10 同轴内管, 11 冷却水进出口, 12 波导,  
13 分子泵, 14 工作进气入口, 15 微波窗, 16 薄铅筒, 17 等离子体电极.

铝镀在低温腔体内壁上, 而是在两者之间又增加了一薄铅筒, 这样可使氧化铝膜保持在较高的工作温度, 以利用可能存在的热电子发射效应. 在上述条件下, 随着等离子体电极逐渐往里伸入, 所对应的最佳微波功率下降, 离子源工作气体进气量下降, 高电荷态离子流增加. 在我们 ECR2 源的实验条件下, 等离子体电极位置比传统工作模式下多伸进约 10mm, 最佳微波功率可从通常的 500W 下降至 50W, 在加速器第二个法拉第筒上测出的  $\text{Ar}^{9+}$  及  $\text{S}^{9+}$  离子流, 可增加近一倍.

### 3 新工作模式的初步分析

新工作模式下的一些特点用图 2 说明. 该图示出腔体内等离子体的边界, 理论上这个边界被约束磁场的等磁压面确定, 图中的 B 及 D 面表示不同等离子体电极位置所对应的封闭等磁压面, 考虑到该磁约束场下的等离子体的某些特殊损失机制, 实际的等离子体边界用 A 及 C 面表示, 它们对应着传统及新工作模式下的实际边界. 可以发现新模式下, 腔体注入端的侧壁几乎与等离子体不接触, 相反, 在腔体引出端的侧壁上, 被等

离子体轰击的痕迹明显展宽. 该图右端画出等离子体电极上被逃逸等离子体轰击的痕迹, 其中虚线和实线分别表示传统和新模式下的轰击痕迹. 从以上分析可以看出, 腔体引出端侧壁及等离子体电极表面的额外电子发射能力, 对新工作模式是至关重要的.

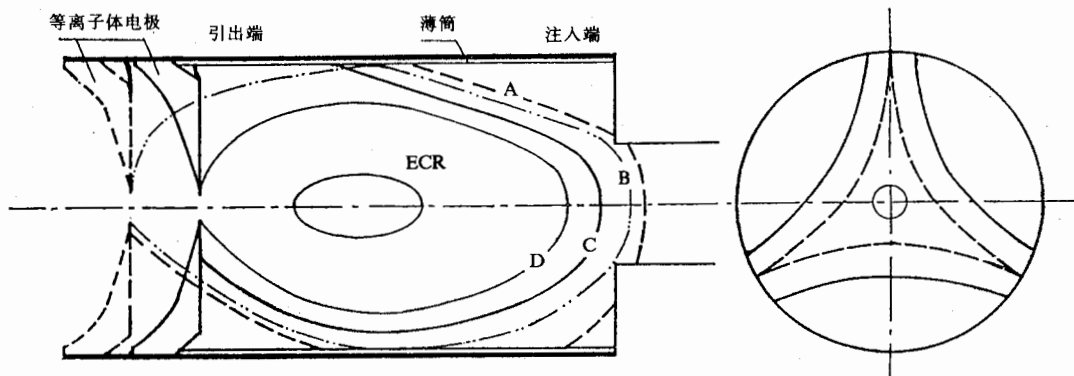


图 2 (左) 新旧模式下等离子体边界示意图(右)等离子体电极上被轰击的痕迹

- A 传统工作模式下等离子体边界, B 传统工作模式下等磁压面,  
C 新工作模式下等离子体边界, D 新工作模式下等磁压面.

实验中还发现引出离子束流与离子源运行参数的调节之间存在明显的时间滞后现象, 说明腔内壁电子发射表面的工作温度对额外电子的补充数量有重要影响, 这预示着额外电子不仅是次级电子, 而且也有高温表面的热电子发射, 这些电子是在腔体壁和等离子体之间的“鞘层”电场加速下进入等离子体的. 为证实这个结论, 进行了比较试验, 一次是不加薄铍筒而在腔体内壁上直接镀铝, 另一次是使用内壁镀上铝的薄铍筒. 结果发现内壁直接镀铝的使用效果不如薄铍筒好, 这说明处于冷腔体壁上的氧化铝膜额外发射电子能力较小, 而薄铍筒内壁由于隔热条件相对较好, 在等离子体轰击下, 可处于相对较高的工作温度, 因而可产生电子的热发射现象. 使用内壁镀铝的铍筒效果最好, 比单纯铍筒时的束流强度可提高约 20%.

前面曾提到过, ECR2 源工作于新模式下, 微波输入功率可降至 50W 左右. 为了分析这一现象, 不妨利用 Y. Jongen 早期的研究结论<sup>[3]</sup>, 他指出 ECR 源中低能电子的损失是由大角度弹性散射引起的, 其损失率正比于  $E^{-3/2}$ ; 而高能电子的损失是由磁场梯度导致的电子角向漂移引起的, 其损失率正比于  $E$ , 其中  $E$  是电子能量. 因此可以想象随着微波功率增加, 电子逐渐被加热, 总存在一个微波功率点, 它对应着最低的电子损失, 即这时功率利用率最高, 在一定程度上, ECR2 离子源利用了这个微波功率点.

新工作模式下 ECR 源有较强的高电荷态束流输出, 这归因于低能外电子注入. 国际上向 ECR 源等离子体注入电子的实验<sup>[4]</sup>已证实, 低能电子的注入可以改善等离子体的稳定性和降低工作进气, 从而减小等离子体内高电荷态离子与中性气体的电荷交换引起的损失.

## 4 结果及讨论

工作于新模式下的 ECR2 离子源为加速器供束已有 8 个月, 由于它使用低的微波功率, 所以微波机以及束流的长期工作稳定性很好. 另外离子源的高电荷态流强也有十分明显的提高. 现将几种典型束流值列于表 1. 束流是在加速器的第二个法拉第筒上测量的, 这比离子源引出口附近的实际输出要小. 表中分别给出了离子源工作于新的和传统工作模式下的束流值.

表 1 两种工作模式下束流比较

束 流		Ar <sup>9+</sup>	Kr <sup>13+</sup>	S <sup>9+</sup>
I( $\mu$ A)	新模式	110	60	95
	传统模式	50	30	45

总之, 对 ECR2 源新工作模式的探索表明, 使用较低的微波功率, 降低了等离子体内离子温度, 离子源的固有发射度也相应减小, 使它的运行水平有了新的提高, 这不仅增加了离子流强, 而且改善了束流品质, 有利于提高加速器的束流传输效率.

感谢所条件室、真空室及磁场室的工作人员对本工作给予的大力支持及热心合作.

## 参 考 文 献

- [1] Liu Zhanwen *et al.*, Proc. of the 12th International Workshop on ECR Ion Source. P235 1995.
- [2] T. Nakagawa *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32**(1993)1335.
- [3] Y. Jongen. Proc. of 10th International Conference on Cyclotron and their Applications P322.
- [4] Zuqi Xie *et al.*, *R. S. I.*, **62**(1991)774.

## A New Working Mode for ECR Source

Liu Zhanwen   Zhang Wen   Zhao Hongwei   Yuan Ping   Zhang Xuezheng  
Guo Xiaohong   Li Xixia   Zhou Sixin   Wang Yifang   Wei Baowen

(*Institute of Modern Physics, The Chinese Academy of science, Lanzhou 730000*)

Received 25 June 1996

### Abstract

In this paper a new working mode for ECR2 ion source of Heavy Ion Accelerator in Lanzhou is introduced. The operating conditions, particular feature and the output of high charge state ions in this condition are described. Some discussions on the new mode are also given.

**Key words** ECR ion source, high charge state ion beam, secondary electron emission, thermoelectron emission.