

# 一台自制溅射负离子源的改进

王贤义 李正芳

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

**摘 要** 自 1995 年以来,在中科院近物所 2 MV 串列静电加速器上对溅射负离子源进行了调试,调试中对源体作了重大的改进,逐步完善了运行工艺,利用该离子源加速器可长时间提供 Li、C、O 离子束.

**关键词** 溅射源 绝缘法兰 电离器 阴极负载

**分类号** TL503.3

## 1 引 言

离子源是加速器的关键部件之一.它不仅是离子产生器,而且直接影响到加速器的水平和应用范围.

在近二十年来,由于许多应用领域对加速器提出了新的要求,以及许多基础学科的研究成果被引入离子源,致使离子源的研究工作出现了新的高潮.为了满足串列静电加速器的需要,研制了各种形式的溅射负离子源.

本小组在国产 2 MV 串列静电加速器上,1995 年开始对自制 860 型溅射源的调试工作.关于溅射负离子源的研制和桌上试验,以前已有文章介绍<sup>[1]</sup>,本文侧重于介绍对源的改进和运行情况.

## 2 离子源的结构及工作机制

该源是仿 Middleton-V11 型研制的,主要由铯源、电离器、阴极靶和引出电极等部件构成(图 1).当铯源被加热后,铯蒸气导入源室,遇 1 100℃ 高温<sup>[2]</sup> 钽(或铼)电离器,产生

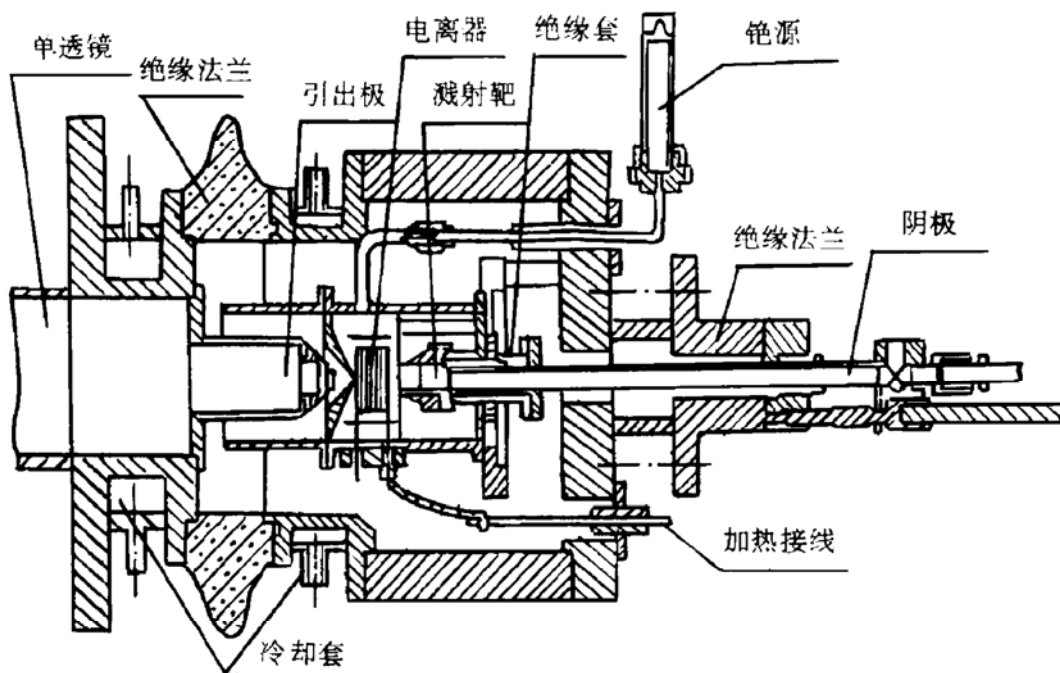


图 1 860 型溅射负离子源

表面电离. 由于钽的逸出功(4.25 eV)大于铯的逸出功(2.14 eV), 所以铯易失去电子形成铯正离子. 在阴极电位作用下加速轰击阴极靶材料, 具有大质量的铯正离子有利于溅射出靶材料的离子. 另外, 中性铯原子在靶表面形成的单层覆盖可降低靶材料的表面功函数, 致使被溅射出的离子以较大几率形成负离子并被引出, 经单透镜聚焦和  $90^\circ$  质量分析器选择后, 注入加速管.

这种源几乎可以产生绝大多数元素的负离子. 但是, 由于各种元素的电子亲合势不同, 各种材料的结构、物理和化学性能不同, 对负离子的产额有几个数量级的差异. 一般只有电子亲合势  $E_{ea} > 0$  的元素或化合物才有稳定的负离子, 然而也存在一些长寿命( $\tau$  大于微秒量级)的  $E_{ea} < 0$  的亚稳态负离子, 如  $\text{He}^-$ 、 $\text{Ca}^-$ 、 $\text{C}^-$  等<sup>[3]</sup>. 这种源还具有产额高、流强大、电离性能好、发射度和能散度小, 以及更换离子种类快速灵便、污染小、所需靶物质材料少、维修方便和寿命长等优点.

### 3 绝缘法兰的改进

如上所述, 溅射源电离器在高温下工作, 以便尽可能提高铯蒸气的表面热电离度, 使足够的  $\text{Cs}^+$  流轰击靶中心表面, 提高溅射产额. 然而高温电离器会对周围环境产生影响, 甚至成为破坏性故障的诱因. 因离子源处于高电位, 因此离子源与加速器注入系统之间用绝缘法兰联接. 原设计绝缘法兰采用有机玻璃. 电离器产生的高温通过辐射和与绝缘法兰连接部件的热传导, 使绝缘法兰发热产生变形, 以致破坏真空密封; 另外有机玻璃受热后会挥发出气, 也导致真空破坏、束流散射、高压打火, 使离子源无法正常工作.

由于对绝缘法兰材料没有现成的资料, 所以对国产各种绝缘材料的绝缘、耐温、挥发、抗变形等性能作了比较后, 决定选用高密

度高压聚四氟乙稀树脂作为绝缘法兰的材料. 同时, 也采取了多项措施. 如将绝缘法兰两侧的接管改为夹层, 加上水冷系统, 降低对法兰的传导热; 将离子源的油冷却改为去离子水冷却, 增加冷却力度; 在电离器外部增加了一层热屏蔽, 既减小了热辐射, 又提高了电离器的热利用率. 同时将装有电离器加热电流接线柱的黄铜法兰, 改为不锈钢法兰, 排除高温下有害挥发物对离子源的污染. 这样, 比较好地改善了离子源的真空环境, 源体真空由原来工作状态下的  $3 \times 10^{-3}$  Pa 提高到  $1 \times 10^{-4}$  Pa, 保证了离子源的正常工作. 一年运行效果证明绝缘法兰问题已得到了彻底解决.

### 4 电离器的改进

溅射源正常工作后, 又遇到阴极负载小、溅射的负离子产额少和束流不易调大的问题. 经过分析, 主要原因是电离器加热电流低、电离器温度不够、到达阴极靶的  $\text{Cs}^+$  流小和溅射效率低. 原电离器芯、皮均为不锈钢, 内填  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的铠装热丝绕制成圆锥形, 内壁附一层钽箔(图 2). 由于铠装热丝内丝直径只有 0.6 mm, 所以要求加热电流小于 9 A, 以保证电离器有一定的使用寿命. 而加热电压为 18 V, 显然功率不够, 产生不了足够的铯正离子, 所以必须更换电离器.

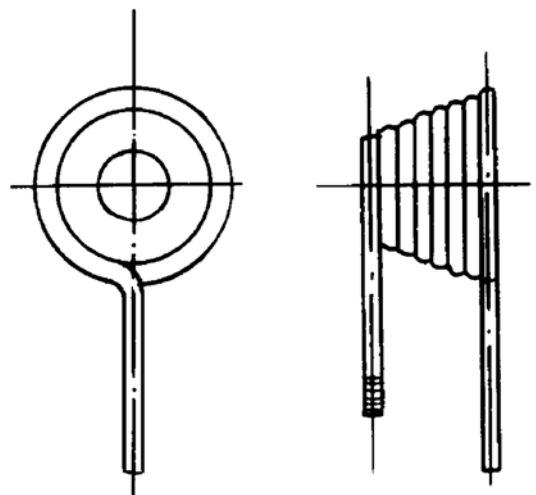


图 2 不锈钢铠装丝电离器

根据文献[4],选用  $\text{Al}_2\text{O}_3$  填充绝缘钽同轴铠装热丝绕制成圆弧状的电离子器比较好. 因为这种电离器的表面就可以直接进行电离,使用方便、可靠. 另外,这种电离器在电流  $8\sim 9\text{ A}$  和电压  $15\sim 16\text{ V}$  即可达到所需要的  $1\ 100\text{ }^\circ\text{C}$  温度,而且抗变形能力好,便于清洗.

在得不到钽铠装加热丝的情况下,用  $\Phi 1\text{ mm}$  的铼钨丝先在  $\Phi 24\text{ mm}$  的模具上绕制成圆筒状,然后用特殊工艺涂上绝缘层,再将钽箔加工成圆筒形状挂在内外壁上. 内壁作电离表面、外壁作热屏蔽(图 3). 使用时加热电流由原来的  $9\text{ A}$ (不锈钢铠装丝制电离器)增加到  $21\text{ A}$ (电压  $12\text{ V}$ ),温度达到  $1\ 100\text{ }^\circ\text{C}$ . 表面电离度明显提高,  $\text{Cs}^+$  流强由原来的  $0.3\text{ mA}$  上升到  $1.5\text{ mA}$  以上. 至此溅射源存在的两大问题得到了解决.

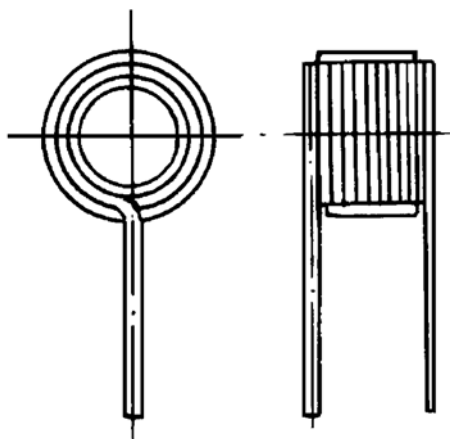


图 3 铼钨丝电离器

根据以前对电离器各种形状的  $\text{Cs}^+$  离子轨道计算结果来看<sup>[1]</sup>,锥形电离器效果最佳. 但我们的新电离器因加工的原因,采用圆筒形. 由于铯流强有明显的增加,且它满足溅射出高负离子产额的要求,因此再未进一步刻求其形状.

## 5 其他改进工作

除此之外,还在离子源上作了其他一些改进工作. 原阴极与源体绝缘靠两个部件,外

部用有机玻璃绝缘法兰,内部用 BN 绝缘套(见图 1). 在调试中发现,有机玻璃绝缘法兰上螺孔的螺纹很细,很快成为光孔无法上紧螺丝,影响真空密封. 为此,曾进行过一些尝试,但未能成功. 最后考虑将此法兰换成尼龙材料,虽然尼龙出气较严重,但考虑到此位置温度不高,不会产生大的影响. 更换后结果证明这一措施是十分有效. BN 绝缘套材料质地很软,在除去其表面的铯覆盖层时,大量的 BN 也同时被除去,更糟的是其端部固定槽极容易损坏,因此将其换成可加工陶瓷,既容易清洗,又坚固耐用.

铯锅密封原用银圈,考虑到银圈价格较贵,为此摸索出将铝丝焊成密封圈的技术,解决了铯锅密封的问题. 另外,还改进阴极靶杆与靶座的连接结构,改善了靶的冷却和导电性能. 在源体上增设了一对永久磁铁,抑制次级电子等.

改进后的溅射源投入运行以来,连续运行的寿命明显增加,束流指标也有所提高,经过串列静电加速器能量分析器后可以得到稳定的  $1\ \mu\text{A}\ \text{C}^{2+}$  束流,  $0.5\ \mu\text{A}\ \text{O}^{2+}$  束流以及  $150\text{ nA}\ \text{Li}^+$  束流.

在调试过程中得到刘振浩、徐宗宝、杨晓东、曹林峰等同志的帮助,在此表示感谢.

## 参 考 文 献

- 1 张化一,欧文智,王克礼等. 溅射型负离子源的研制. 第三届全国离子源学术交流会论文集,兰州,1987,9:43~45
- 2 王克礼. 清华大学工物系编辑. 串列加速器,1979,3:15
- 3 张华顺主编. 离子源和大功率中性束源. 北京:原子能出版社,1987,257~259
- 4 Middleton R. A Versatile High Intensity Negative Ion Source. Nucl Instr & Meth, 1983,214:139~150

(下转第 9 页)

# Improvement of Model Sputter Negative Ion-source

WANG Xianyi LI Zhengfang

(*Institute of Modern Physics, the Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000*)

**Abstract** Since 1995, the sputter ion source has been tested on the 2 MV tandem accelerator in the Institute of Modern Physics. During the experiment some important improvements on the source were performed. The running procedure has been progressively perfect. With this source, the stable Li, C, O ion beams can be delivered by the accelerator for long period.

**Key Words** sputter ion source insulated flange ionizer cathode load