

164-166

# 阴极真空弧离子源的研制\*

张孝吉 张荟星<sup>✓</sup> 周凤生 吴先映 李强 刘风华  
(北京师范大学低能核物理所, 北京市辐射中心 北京 100875)

TL503.3  
0531

**摘要** 为发展金属离子束材料表面改性技术的工业应用,北师大低能核物理所研制成阴极真空弧离子源和离子注入装置. 简要介绍该设备的结构、原理和性能.

**关键词** 真空弧放电 MEVVA 离子源 离子注入 表面改性  
**分类号** TL503.3

## 1 引言

金属离子注入可以综合改善材料表面的摩擦、磨损、腐蚀和抗高温氧化等性能,比氮离子注入的表面改性效果更显著,其应用范围也更广泛. 但为达到改性目的,注量通常在 $10^{17}/\text{cm}^2$ 或更高,为此开发新型强流金属离子源和注入机已成为人们关注的研究课题. 阴极真空弧离子源是产生强流金属离子的一个比较理想的离子源,这种源一面世,便引起人们的广泛重视,得到迅速发展和实际应用.

阴极真空弧离子源(简称MEVVA源)是一种新型强流金属离子源,由Brown I G于80年代中期研制成功并在重离子加速器上获得实际应用<sup>[1]</sup>. 北师大低能核物理所从1988年开始研制,并以发展金属离子注入材料表面改性为目标. 到目前为止,已研制成功六种不同型号的MEVVA源及多种MEVVA源注入系统,广泛开展了金属离子注入表面改性的基础和工业应用研究,取得了重大进展. 现简要介绍MEVVA源及其注入系统的结构、原理和性能指标.

## 2 MEVVA 离子源

### 2.1 工作原理

MEVVA离子源包括金属等离子体形成区和金属离子束形成区两部分. 前者由阴极、阳极和触发电极组成,后者由一组多孔三电

极组成(附图). 阴极、触发电极和阳极为同轴结构. 阴极为圆柱形由所需离子的导电材料制成,阳极为圆柱筒形,套在阴极外面,阳极中心开孔为等离子通道. 阴极和阳极间施加一电压并不能形成真空弧放电,必须经触发电极点燃. 采用脉冲高压触发方式,外触发结构,即触发电极套在阴极外,中间用氮化硼绝缘,

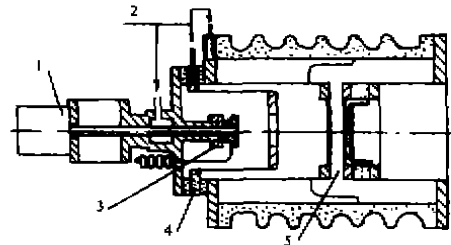


图 MEVVA II-H离子源结构原理图  
1 电机 2 循环冷却 3 阴极和触发电极 4 阳极 5 引出系统

触发电压10 kV左右,触发脉宽10  $\mu\text{s}$ . 当触发电压施加在阴极和触发电极上时,由于火花放电产生的等离子体使阴极和阳极电路接通而形成真空弧放电. 真空弧放电的重复频率由触发脉冲频率决定,而真空弧放电持续时间则由主弧电源的脉冲长度决定,阴极真空弧放电的基本特征是在阴极表面形成阴极斑. 阴极斑只有微米量级大小,而电流密度高

\* 国家“863”计划资助课题,课题编号 863-715-23-02-01.

达  $10^6 \text{ A/cm}^2$ , 致使斑内阴极材料蒸发并高度电离形成高密度金属等离子体. 等离子体以  $10^4 \text{ m/s}$  的速度喷射, 一部分等离子体通过阳极中心孔扩散到引出电极, 在引出电场作用下被引出而形成强流金属离子束. 施加在阴阳极间的弧压越高, 弧电流越大, 所产生的金属等离子体密度也就越高, 从而有可能引出更大的束流, 引出束流大小还同源的工作参数、引出电压、引出结构和阴极材料等有关<sup>[2]</sup>.

本所已研制成六种型号的 MEVVA 源, 即 I 型、II 型、IA 型、III 型、IA-H 型和 IB 型. 前三种型号为单阴极结构<sup>[2,3]</sup>, III 型源为多阴极源(共 18 个阴极)<sup>[4]</sup>, IA-H 型和 IB 型源是近期研制成功的新源型.

### 2.2 MEVVA IA-H

MEVVA IA-H 源为 MEVVA IA 源的改进型, 最高引出电压可达 80 kV, 源的真空室采用带裙边的陶瓷筒代替石英筒提高了工作电压, 阴极直径 10 mm, 引出栅直径 60 mm, 第一栅有  $30 \times \varnothing 7.5 \text{ mm}$  孔, 第二和第三栅为  $30 \times \varnothing 8.5 \text{ mm}$  孔, 1~2 栅间距为 15 mm, 2~3 栅的间距为 2 mm. IA-H 源的工作参数与 IA 相同, 触发电压 10 kV, 脉冲长度 10  $\mu\text{s}$ , 重复频率为 25 Hz 或 50 Hz, 主弧电压 300 V, 脉冲宽度 1.2 ms, 因此束流占空比为 3% 或 6%.

到目前为止, 该源已引出 C、Mg、Al、Si、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ge、Y、Zr、Nb、Mo、Ag、In、Sn、Sb、La、Ce、Sm、Hf、Ta、W、Pt、Pb 及 TiC、LaB<sub>6</sub> 与 BaAl 等三十余种元素或化合物的离子束, 除碳和个别低熔点金属外, 一般工作稳定. 引出脉冲束流强度为 0.3~0.7 A, 平均束流强度 10 mA 或更强.

该源采用了一种设计独特的可推进的阴极结构, 可以自动推进阴极以补偿阴极的消耗, 从而使单个阴极寿命由 2~4 小时提高到 16 小时, 阴极触发结构也进行了优化设计, 对主弧电源进行了改进, 从而基本消除了“外起弧”和“漏弧”现象.

### 2.3 MEVVA IB

MEVVA IB 源是为适应工业应用而研制的一个束流更强的大束斑离子源. IB 源设计的工作电压为 50 kV, 三栅引出电极直径扩大为 180 mm, 每个电极有  $526 \times \varnothing 6 \text{ mm}$  小孔, 阴极为可推进单阴极结构, 直径 16 mm, 阴极至引出系统第一电极之间的距离增加至 240 mm, 使等离子体膨胀到一个较大的直径. IB 源的电参数基本与 IA-H 源相同, 该源已经初步调试, 脉冲束流强度可达 3A, 在 30 kV 电压下引出平均流强超过 50 mA.

## 3 MEVVA 源离子注入系统

一个常规的离子注入系统, 一般由离子源、加速系统、分析磁铁、扫描和注入靶室等五个主要部分组成, 结构繁杂、造价高. MEVVA 源具有许多突出的优点: 第一, 能产生几乎所有的金属离子和某些非金属离子; 第二, 能引出很强的离子束; 第三, 离子电荷态高, 多数金属离子的平均电荷态为二左右, 因此在相同引出电压下可以获得较高离子能量, 加之引出系统处在高真空, 故在高电压下引出时不用加速就可获得较高的离子能量; 第四, 金属离子束纯度很高, 不需要分析磁铁; 第五, 可以大面积引出, 获得大面积束斑, 而不需要扫描. 因而采用 MEVVA 源的离子注入系统可省去加速系统、磁铁分析系统和扫描系统三大部件, 仅由离子源和注入靶室两部分组成, 使注入机结构简化、成本降低、操作简单、运行稳定, 有利于强流金属离子注入材料表面改性技术的产业化发展.

为了适应本所金属离子注入表面改性基础和工业应用研究的需要, 首先研制了两台 MEVVA 源实验机. 两台注入机均采用 MEVVA IA 源, 最高引出电压 50 kV, 平均束流强度 10 mA. 在结构上, 一台束流方向为水平方向, 样品垂直放置; 另一台的样品台是水平的, 束流与样品台成  $60^\circ$  角, 这样安排的目的是适应各种不同样品和工件的离子注入

处理.

近两年又研制成一台 3-MEVVA 源工业样机和一台 JYZ-8010W 强流金属离子注入机.

MEVVA 源工业样机的主要性能指标为: (1)单束脉冲束流强度 300~700 mA, 平均束流强度 10 mA; (2)最高引出电压 80 kV, 平均离子能量为 80~240 keV, 与离子平均电荷态有关; (3)束斑直径 200 mm; (4)束流不均性 <±25% (∅150 mm 内); (5)连续运行时间 >10×8 mA·h; (6)在不破坏真空条件下, 可提供三种不同种类的金属离子束, 可提供两种不同离子同时注入; (7)靶室容量大, 可同时装六批样品, 具有小批量处理能力.

JYZ-8010W 注入机是材料表面改性研究用注入机, 是专为香港中文大学设计研制的主要技术性能指标如下: (1)加速电压 20~80 kV; (2)离子种类, 为导电的固态元素(化合物)的离子; (3)束流强度, 脉冲流强 200~700 mA, 平均流强 5~10 mA; (4)束斑直径

∅100 mm; (5)连续运行时间 10×8 mA·h.

#### 4 结束语

MEVVA 离子源和 MEVVA 源离子注入机是新一代强流金属离子源和离子注入机, 具有产生离子种类多、束流强、纯度好, 离子电荷态高, 特别适合离子注入材料表面改性的研究和实际应用. 离子注入表面改性已取得明显效果, 具有良好的工业应用前景.

#### 参 考 文 献

- 1 Brown I G, Gavin J E, Macgill R A. High Current Ion Source. *Appl Phys Lett* 1985, 47(4), 358~360
- 2 Zhang X L, Zhou F S, Zhang H X et al. Broad Beam High Average Current Metal Ion Source. *Rev Sci Instrum*, 1992, 63(4), 2431~2433
- 3 Zhang H X, Zhang X J, Zhou F S et al. High-current Metal-ion Source for Ion Implantation. *Rev Sci Instrum*, 1990, 61(1), 574~576
- 4 朱祥正, 张荟星, 张孝吉. 多阴极金属蒸气真空弧离子源. *核技术*, 1991, 14(8), 479~482

### Development of Cathode Vacuum Arc Ion Source

ZHANG Xiaoji ZHANG Huixing ZHOU Fengsheng WU Xianying  
LI Qiang LIU Fenghua

(*Institute of Low Energy Nuclear Physics, Beijing Normal University,  
Beijing Radiation Center, Beijing 100875*)

**Abstract** The cathode vacuum arc ion source and ion implantation facility have been developed in our institute for industrial application of surface modification of materials. In this paper the principle structure and performance of these facilities were described.

**Key Words** cathode vacuum MEVVA ion source ion implantation surface modification