

电子轰击型离子源磁场方向的探讨

王 理 刘志欣

(中国科学院北京科学仪器研制中心 100080)

[摘要] 本文报道对尼尔型离子源的改进试验, 并对有关机理进行了一些探讨。

关键词: 离子源 磁场 质量歧视

1 前言

离子源是质谱仪器的“心脏”。按电离方式分成电子轰击源、化学电离源、场致电离源等。其中慢电子轰击源^[1]是使用最广泛的气体离子源。离子源的性能直接影响着质谱仪器两个关键指标即灵敏度和分辨本领的高低。因此在质谱仪器中除了要求离子源工艺性能好, 使用寿命长、价格低廉之外, 主要是对以下指标感兴趣, 即要求离子束流强大、散角小、束流稳定、能量分散和质量歧视都小。

国内外都有许多文章、专著和专门的学术活动讨论离子源的各种性能, 但是对尼尔型慢电子轰击气体离子源的电子束聚焦磁铁的磁场方向问题却是研究很少, 很难见到专门的论述或实验报告。本文拟就此问题进行一些实验对比并对一些有关机理加以探讨。

2 电子轰击型离子源的结构特点

图1表示一种最常用的结构最简单的电子轰击型离子源。电子由直热式阴极 F_1 (或 F_2)发射, 在电离室A(阳极)和阴极 F_1 或 F_2 之间施加直流电位 V_e ($V_e = V_a - V_f$), 使电子得到加速, 进入电离室中, 碰撞气体使气体分子电离。在电离室A和聚焦极B之间所加电位作用下, 离子加速离开电离室, 通过聚焦极后在减速间隙所加电位作用下, 离子减速、聚焦到达离子源出口孔。由图1可见, 这个简单离子源既无单独的离子排斥极和偏转极, 也无电子接收极和栅极, 但加有电子束聚焦磁铁和可自动切换的双灯丝(一个灯丝工作, 另一备用灯丝与电离室相接), 磁场强度和方向见图2。

这种离子源的灵敏度与灯丝发射效率、灯丝和电离室小孔的准直度、电离电压(也称电子加速电压, 加于电离室和灯丝之间, 电离室为正, 灯丝为负)、离子加速电压(电离室相对于地的正电压, 即离子能量)以及三电极引出聚焦系统的性能都有关系, 还与电子束聚

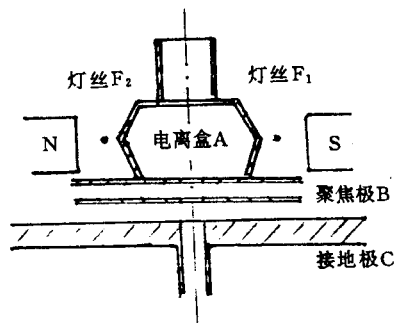


图1 离子源简图

1994年1月7日收

焦磁铁有关。下面仅专门讨论聚焦磁铁的磁场方向问题。

3 实验测试

离子源抽真空后,送入低压样品气体。如电离室中气压为 10^{-4} Pa,电子横穿电离室的路程为 10mm,那么由于此时电子的平均自由程 $\bar{\lambda} \approx 200$ m,因此大约 20000 个电子才能电离成功一个离子,也就是说电离几率很小,或电子利用率很低。为提高电离几率,人们增设了电子束聚焦磁铁(一般中心场强约 0.02 特斯拉,即 200 高斯),使电子准直并螺旋前进,增加了运动路程,从而可提高电离几率数倍至数十倍。从文献报道和各种现有质谱仪加装磁铁的离子源来看,基本都是如图 2 的方向即 NS 极相吸放置。

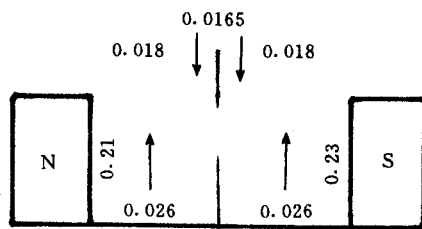


图 2 电子束聚焦磁铁

我们在离子源出口孔之后 80mm 处放置一直径 10mm 的接收平板和直径 10~30mm 的圆环,用微电流表分别测得流强列于表 1。

表 1 流强测量值

磁场强度 (特斯拉)	无磁铁		NS 放置极面 (0.05)		NS 放置极面 (0.2)		NS 放置极面 (0.4)	
	中心	圆环	中心	圆环	中心	圆环	中心	圆环
束流强度(A)	2×10^{-9}	1.5×10^{-8}	8×10^{-9}	2×10^{-8}	1.9×10^{-8}	5.6×10^{-8}	2×10^{-8}	5×10^{-8}

表 1 说明离子源加 NS 放置的磁铁 0.2 特斯拉(中心场强 0.0165 特斯拉)可以提高流强接近一个数量级,从表 1 也看出磁场强度由 0.2 特斯拉变为 0.4 特斯拉,离子流强度变化甚微,因此一般取 0.2 特斯拉即可。

此外,在离子源之后接一性能较差的四极杆和电子倍增器,继续观察 N_2^+ 强度的变化,结果如下:

3.1 极面 0.4 特斯拉 NS 相吸放置的磁铁加在离子源上,通过四极杆和倍增器后 N_2^+ 峰很弱,有时甚至观察不到。

3.2 极面 0.2 特斯拉 NS 相吸放置的磁铁加在四极质谱计的离子源上,通过四极杆和倍增器后的峰同样很弱,甚至看不到。

3.3 取下磁铁则一切正常,离子流强度达到约 1×10^{-9} A, N_2^+ 峰达到通常使用的正常强度。

当我们重新装上极面 0.2 特斯拉的磁铁,但把磁铁按 NN 或 SS 相对放置时,则能得到比不加磁铁大 2~3 倍的离子峰,用 0.4 特斯拉的磁铁效果更好。

另在一台进口质谱仪上把磁铁方向由原 NS 相吸放置改为 NN 相对放置,看到了两个明显的变化:一是在分辨本领不减少的情况下,离子流强度提高约半个数量级;二是在 NS 放置时需离子能量偏高才能达到分辨本领和灵敏度的最佳状态,在改为 NN 相对放置时则所需离子能量明显降低。

我们还用实验方法观察了电子束聚焦磁铁在 NS 放置和 NN 放置时磁力线分布状态, 见图 3a、3b。由这些实验结果可作进一步的分析探讨。

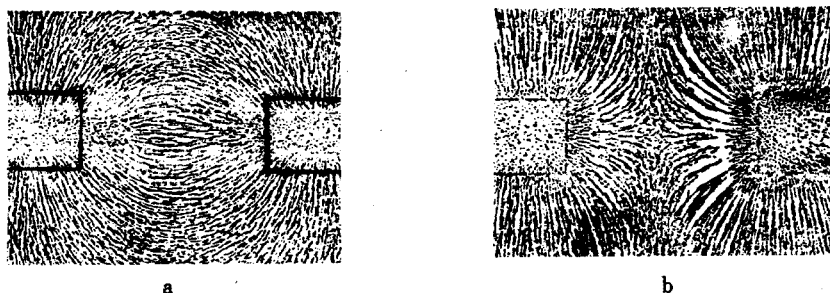


图 3 磁力线分布图

a—磁铁 NS 相吸放置, b—磁铁 NN 相对放置

4 机理探讨

由图 2 可以看出极面约 0.2 特斯拉的磁铁如 NS 相吸放置, 离子束通过的中心位置具有较大的场强, 由此引起离子束的质量歧视效应(在到达出口缝前由于电子束聚焦磁铁的影响, 离子束已按质荷比偏离, 因而输出的离子流与质量有关)。

在性能要求很严的离子源中, 在设计和装配时应充分考虑这一位移量和出射角的变化, 用机械方法纠正。有的离子源为了解决这一问题, 通常把引出电极(甚至聚焦电极、偏转电极等)的左右两半部加以绝缘, 并加上相对可调的电位, 提高离子束的引出效率和聚焦性能, 使离子束准直地通过出口孔。

但是在小型四极质谱计中, 为使离子源结构简单、可靠, 通常都不采取上述措施。磁场对增加电子束对气体的电离几率是有效的, 增加了引出束流, 但磁场对离子束的偏转却改变了引出束流的出射位置和出射角, 这样反而减小了引出束流, 尤其是出射角的偏斜使后果最为严重, 见图 4。

计算表明对于图 1 的离子源电离室中 0.0165 特斯拉的磁场强度就可使 N_2^+ 峰的位置偏移 $\Delta X = 0.2\text{mm}$, 也可使出射角偏离轴线 2° 。

如图 5 所示的 NN 相对放置的磁铁在电离室的中心处(也是离子束引出孔的中心)磁场强度为零, 因此离子束可以不受干扰就通过, 而磁场对电子束的有效作用仍然存在, 这是比较理想的, 不必担心磁场强度变化对离子源性能的影响, 且无质量歧视效应。

此外, 从前面离子能量的变化看出在电离室中 NN 相对放置时产生的离子距出口孔较近, 也不因磁场的存在而偏斜, 因而需要的离子引出能量也不致偏大。

从表 1 看出, 加磁铁比不加好, 不仅总流强增加, 中心部分流强所占比例又增大, 说明加磁铁后离子束的发散角减小。另外, 极面 0.2 特斯拉比 0.05 特斯拉的流强增大一倍多,

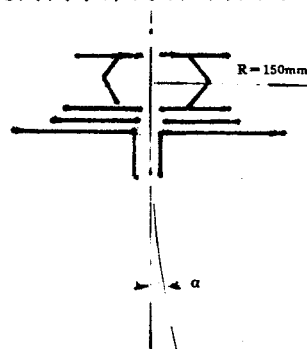


图 4 磁场对离子束的质量歧视

而到 0.4 特斯拉就没有什么作用了,由此可见电离室处的中心场强为 0.016 特斯拉是比较合适的,这是 NS 放置的情况。如果改为图 5 所示的 NN 相对放置,可以看出极面 0.4 特斯拉(5b)的磁铁更合适一些,极面 0.2 特斯拉(5a)的磁铁由于相互抵消的缘故在电离盒中的场强较弱一些。

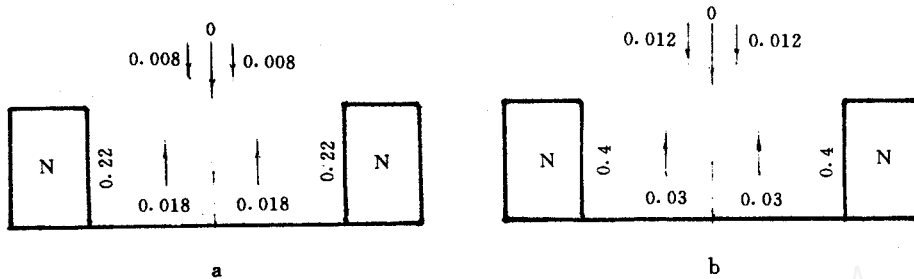


图 5 电子束聚焦磁铁的另一装法

从表 1 还可看出在离子源后 80mm 处安装平板检测离子流的方法对于 0.2mm 的位移量和偏离轴线 2° 的偏转角反应不会十分敏感,因而未出现异常。而在离子源后加一个性能不十分好的长 163mm 的四极杆后,实际通道比前者大为减小,不仅把不适合四极杆的大部分离子流滤掉,而且由于位移和出射角的变化又增加了部分损失,这部分流强在不加磁场时可以通过四极杆,因此检测到的流强很弱甚至检测不到。

从图 3 看出极面 NN 相对放置时磁力线的分布更有利于延长电子束的螺旋路程,有利于提高电离效率。

综上所述极面 NN 相对放置的总效果比 NS 相吸放置有利是很明显的。

参 考 文 献

- 1 Nier. Rev Sci Instr, 1947, 18:398
- 2 北京分析仪器厂. 分析仪器, 1971, (1):8

Discussion on Magnetic Field of Electron Impact Ion Source

Wang Li, Liu Zhixin

(Beijing Research and Development Center of Scientific Instruments,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Received 1994-01-07

Abstract

In this paper the modified Nier-ion source has been reported. The mechanism is primarily discussed.

Key Words: ion source, magnetic field, mass discrimination.