

ИСТОЧНИК ИОНОВ ДЛЯ СДВОЕННОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

Э. Н. Вайсберг, Д. Г. Зотов, А. С. Кузема

Сумы

Проведение различного рода масс-спектрометрических исследований зачастую требует одновременного измерения ионных токов (или их отношения) из различных участков масс-спектра.

Обычные масс-спектрометры двухлучевого типа (например, МИ1 305) непригодны для этих целей, поскольку они рассчитаны на одновременную регистрацию ионов из узкого диапазона масс

$$\frac{\Delta M}{M} \leq 0,05 \div 0,10.$$

От этого недостатка свободен сдвоенный масс-спектрометр МС-62, промышленный вариант которого выполнен Сумским заводом электронных микроскопов и электроавтоматики [1].

Масс-спектрометр имеет два независимых масс-анализатора с неоднородным магнитным полем вида $H = \frac{H_0 r_0}{r}$ и специальный источник ионов. В отличие от обычного однолучевого источника ионов в данном источнике создаются два ионных луча с помощью двух одинаковых ионно-оптических систем (рис. 1). Пучки ионов направлены в противоположные стороны; обе оптические системы независимы друг от друга (исключение — общая ионизационная камера) При этом симметрия в области ионизационной камеры приводит к существенному уменьшению разброса ионов по энергиям.

Определение режима работы источника. С целью расчета геометрии источника ионов и выбора оптимальных потенциалов вытягивающих и фокусирующих электродов было проведено моделирование его ионно-оптической системы на электролитической ванне.

Моделировалась половина источника ионов, все геометрические размеры электродов и расстояния между ними увеличивались в 100 раз, причем длина моделей электродов была взята уменьшенной, поскольку она много больше ширины щелей (рис. 2). Модели были изготовлены из листовой стали Ст. 10 КП (толщина листа 2 мм). В качестве электролита использовалась дистиллированная и слегка подсоленная вода. Ванна питалась переменным напряжением частотой 1500 гц от звукового генератора ЗГ-2; в качестве регистрирующего устройства использовался специально разработанный потенциалограф, позволяющий получить высокую точность и скорость снятия картины поля.

На фокусирующий и вытягивающий электроды подавалось одинаковое напряжение. Картина электрического поля снималась для трех значений потенциалов этих электродов относительно ионизационной камеры: 100, 200 и 300 в. По снятым картинам поля (рис. 3) были построены траектории ионов методом радиусов кривизны и методом парабол [2].

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы: при напряжении на вытягивающих и фокусирующих линзах, равном 100 в, пучок ионов получается очень рассеивающимся, основная часть ионов оседает на электродах системы и с источника ионов выходит только небольшая часть приосевых ионов. Интенсивность пучка на выходе из источника ионов очень мала. При напряжениях 200 и 300 в ионный пучок получается хорошо сфокусированным; при напряжении 200 в фокусировка лучше.

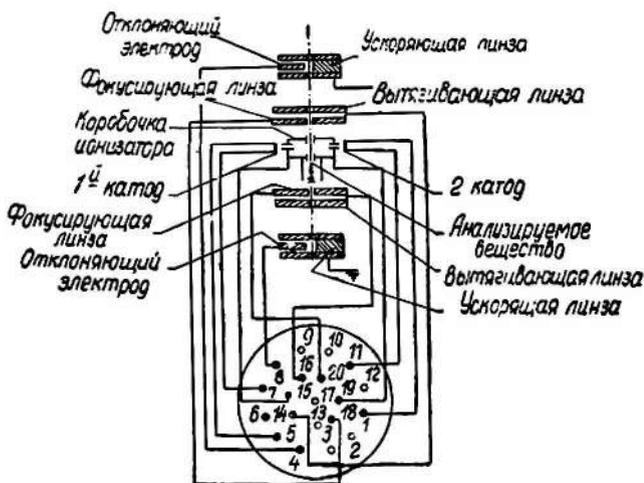


Рис. 1. Схема источника ионов

Расчет величины изображения ионного источника в плоскости ускоряющего потенциала. Считаем, что пучок ионов шириной $2a_0$ влетает в однородное электрическое поле напряженности \vec{E} с начальной скоростью v_0 под углом α к оси x . Напряженность электрического поля E направлена вдоль оси x , т. е. $E_x = E$; $E_y = 0$.

Управления движения иона в однородном электрическом поле:

$$m\ddot{x} = -eE; \tag{1}$$

$$m\ddot{y} = 0. \tag{2}$$

Интегрируя эти уравнения, получим

$$x = -\frac{e}{2m}Et^2 + v_0 \cos \alpha t; \tag{3}$$

$$y = v_0 \sin \alpha t + a_0. \tag{4}$$

Из (4) находим t

$$t = \frac{y - a_0}{v_0 \sin \alpha}. \tag{5}$$

Подставляем (5) в (3)

$$x = -\frac{e}{2m}E \frac{(y - a_0)^2}{v_0^2 \sin^2 \alpha} + (y - a_0) \cotg \alpha \tag{6}$$

при

$$x = d; \text{ напряженность } E = E_d = \frac{u - u_0}{d}, \tag{7}$$

где u — потенциал ускоряющего электрода;

u_0 — потенциал в плоскости влета пучка в однородное электрическое поле.

Обозначив $y - a_0 = Y$ и учитывая (7), а также то, что $v_0 = \sqrt{2 \frac{e}{m} u_0}$, из (6) и (7) имеем

$$Y^2 - \frac{4du_0}{u - u_0} Y \sin \alpha \cos \alpha + \frac{4d^2u_0 \sin^2 \alpha}{u - u_0} = 0. \quad (8)$$

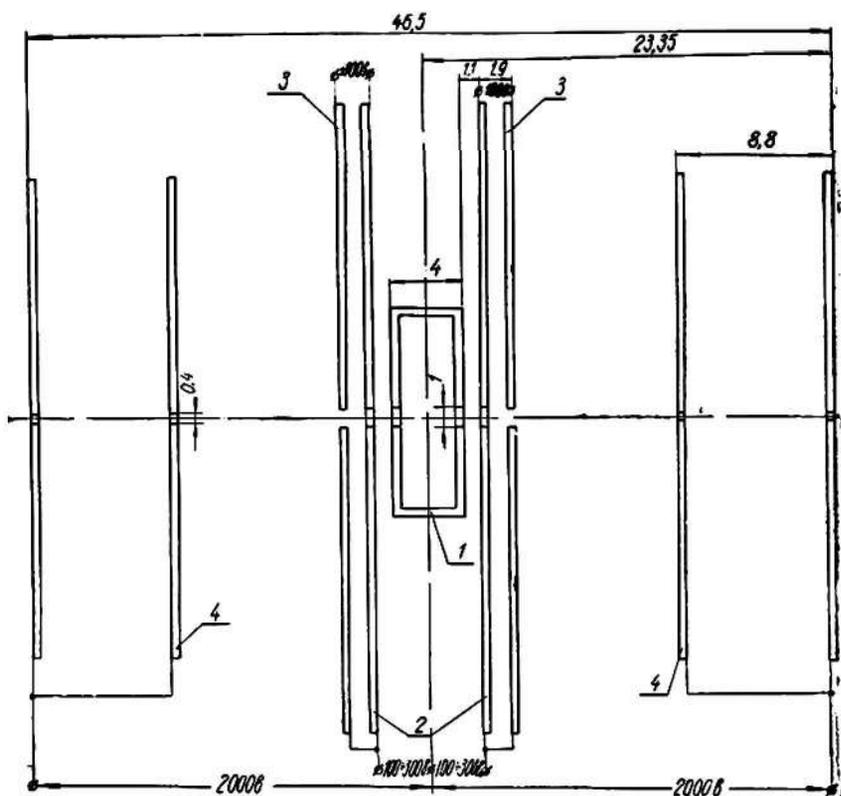


Рис. 2. Расположение электродов источника:

1 — ионизационная камера; 2 — вытягивающие электроды; 3 — фокусирующие электроды; 4 — ускоряющие электроды (газмеры даны в мм)

Из снятых картин поля для $u = 2000$ в находим, что при напряжении вытягивающего электрода $u_s = 300$ в, $a = 0,37$ мм, $\alpha = 2^\circ$, $u_0 = 280$ в, $d = 13,68$ мм; а при $u_s = 200$ в, $a_0 = 0,29$ мм, $\alpha = 1^\circ 43'$, $u_0 = 450$ в, $d = 13,15$ мм.

Величина изображения в плоскости ускоряющего электрода: $A = 2y = 2(Y + a_0)$. При $u_s = 200$ в; $A = 2(0,26 + 0,29) = 1,1$ мм. При $u_s = 300$ в; $A = 2(0,27 + 0,37) = 1,3$ мм.

Конструкция ионного источника представлена на рис. 4. Ионизационная камера δ выполнена в виде металлической коробки со щелями на узких боковых стенках (для входа и выхода электронов эмитируемых одним из катодов) и на широких станках (для выхода ионов, образовавшихся в коробке путем электронной ионизации). В дне коробки имеется отверстие, к которому подсоединяется трубка напуска 10 анализируемого газа. В источнике смонтированы два независимых катода 7, включаемых поочередно по мере перегорания. Катоды укреплены на полсных наконечниках электромагнита, сердечник и обмотка которого расположены вне вакуумной камеры анализатора. Такая конструкция

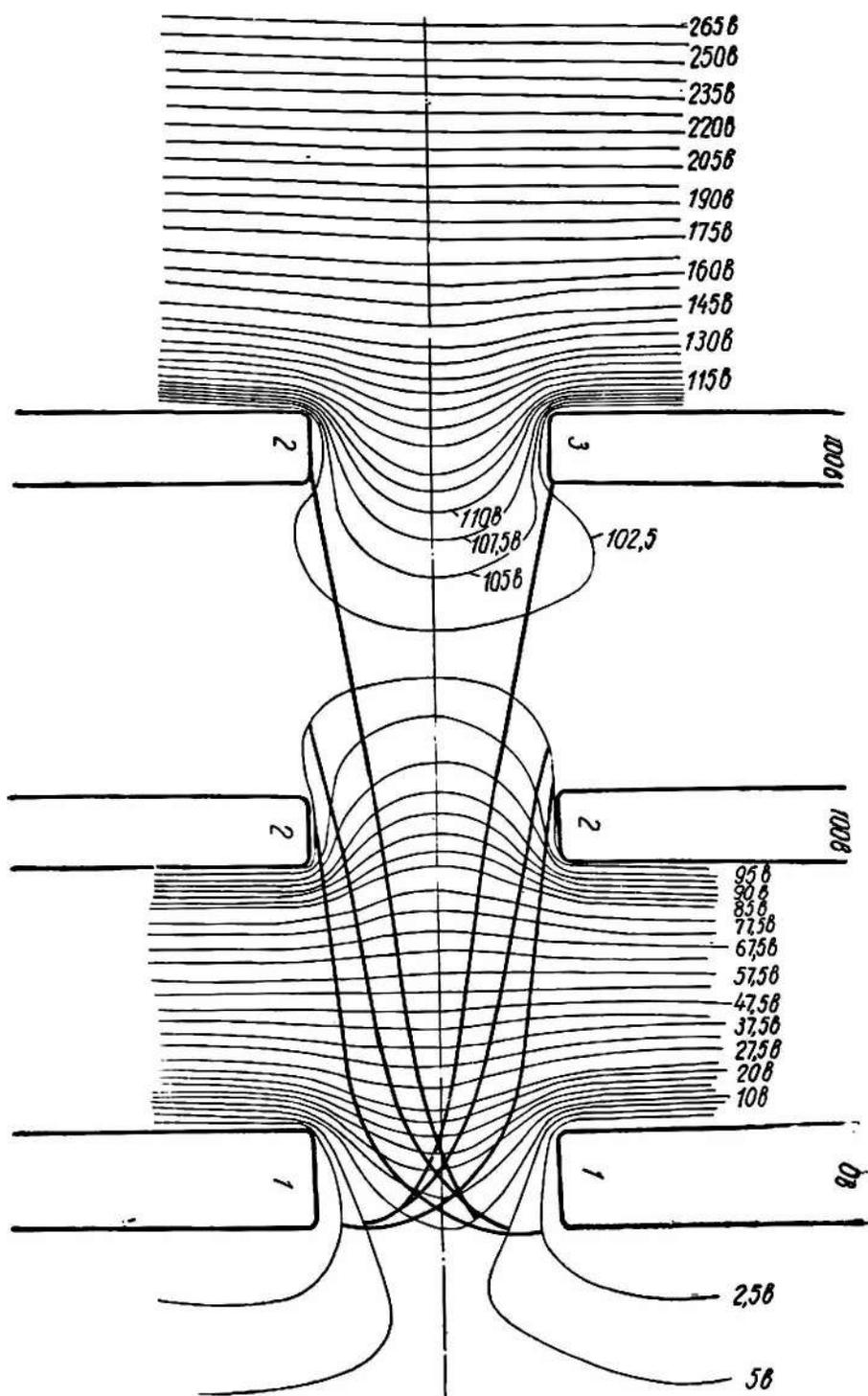


Рис. 3. Распределение электрического поля в источнике и траектории ионов при различных потенциалах электродов

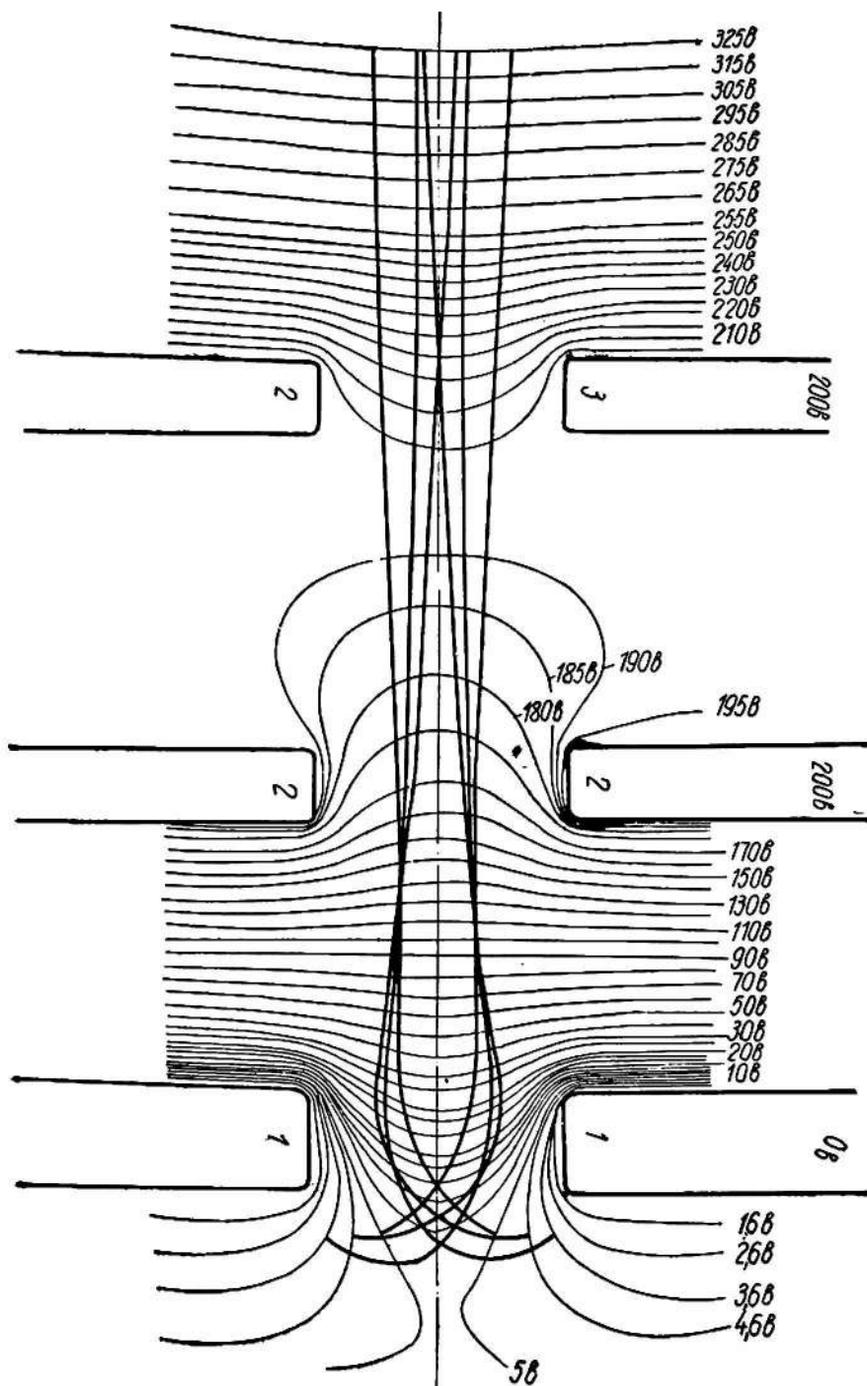


Рис. 3а

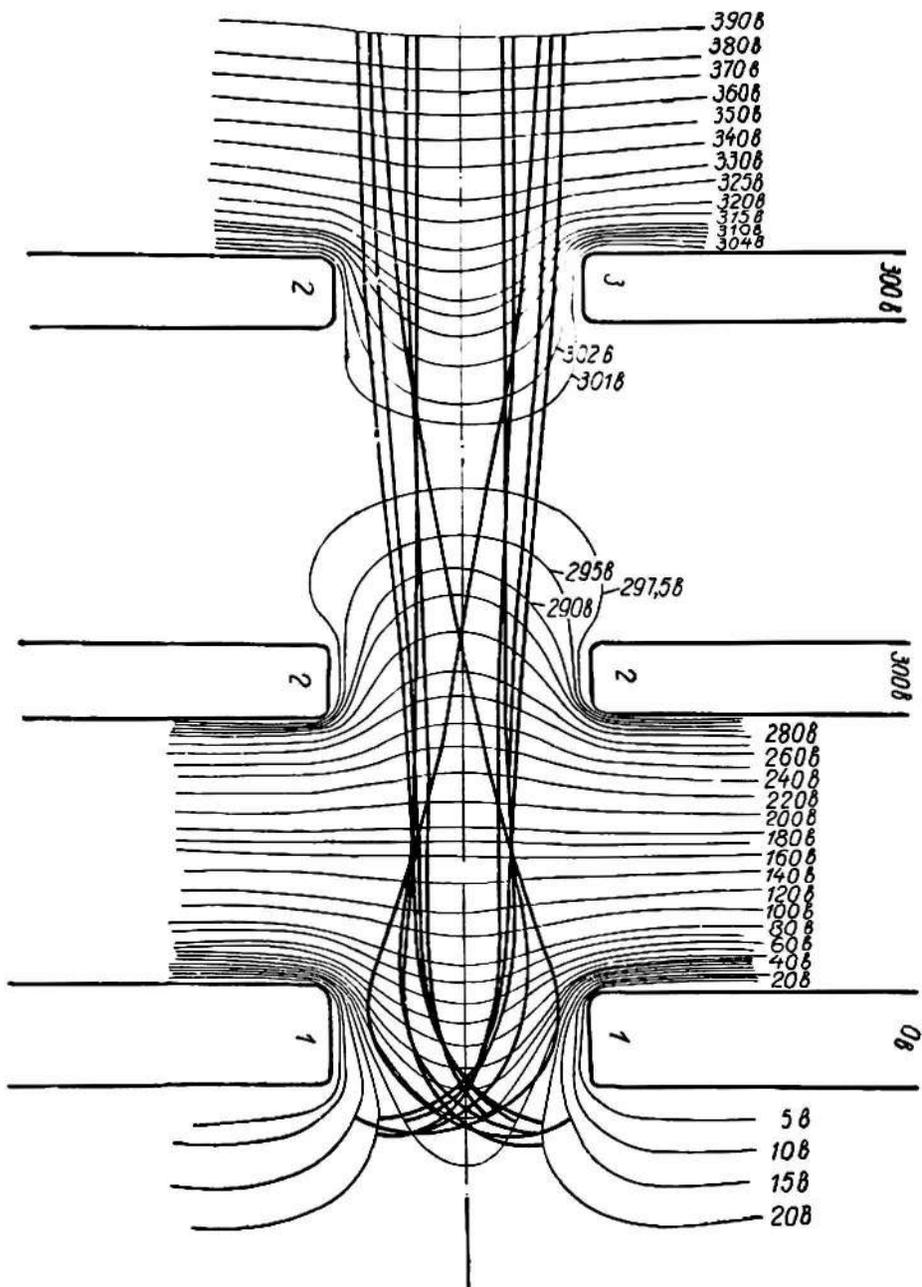


Рис. 3,6

магнита позволяет локализовать магнитное поле, фокусирующее электронный пучок в узкой области ионизационной камеры, что уменьшает его влияние на ионный пучок. Для устранения влияния на электронный пучок электрических полей вытягивающих электродов катоды с

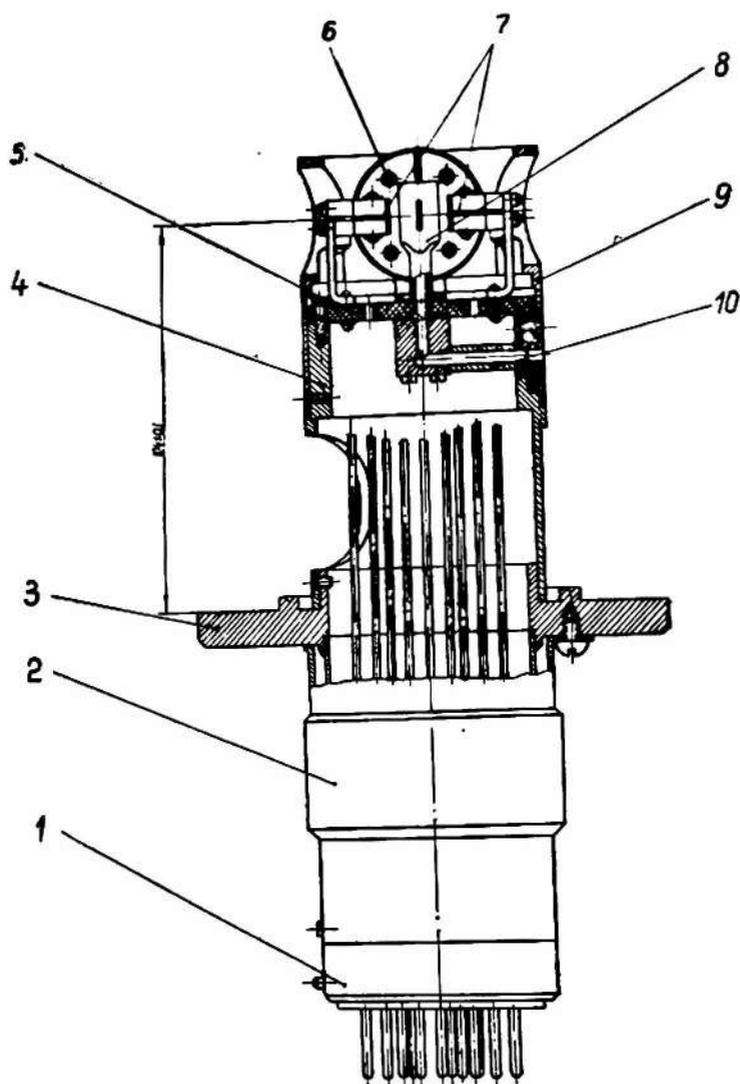


Рис. 4. Конструкция источника:

1 — цоколь; 2 — кожух; 3 — фланец; 4 — нижний стакан; 5 — плата; 6 — блок линз;
7 — катоды; 8 — ионизационная камера; 9 — верхний стакан; 10 — трубка напуска
исследуемого газа

боковых сторон закрыты экранами. Блоки вытягивающих и фокусирующих линз 6 служат для вытягивания из коробки, фокусировки и предварительного ускорения ионов, образовавшихся в ионизационной коробке и выходящих из нее в противоположные стороны.

Все описанные выше узлы расположены на керамической плате 5 нижнего стакана 4.

Блоки ускоряющих линз расположены на верхнем стакане 9 корпуса источника ионов и служат для окончательного ускорения ионов до энергии 2 кэВ и формирования с помощью двух щелей (в каждом блоке) шириной 0,4 мм слабо расходящихся пучков ионов. Оба блока совершенно идентичны по конструкции и смонтированы на дисках. Между двумя пластинами со щелями расположен отклоняющий электрод, с помощью которого осуществляется коррекция направления пучка при юстировке масс-спектрометра, а также выключение пучка при проверке «нулей» усилителей ионных токов.

Электроды источника выводятся через стеклянную ножку, приваренную к фланцу 3 источника через промежуточный стакан из кобальта. Для защиты от механических повреждений ножка закрыта металлическим кожухом 2, в торцевой части которого расположен цоколь 1 для подключения источника ионов к блокам питания. Источник ионов герметично присоединяется к камере масс-спектрометра фланцем с ножевым уплотнением через металлическую прокладку.

Экспериментальная проверка работы ионного источника дала следующие результаты.

Регулировкой вытягивающего напряжения в диапазоне 100 — 300 в относительно ионизационной камеры при оптимальных напряжениях фокусирующего и отклоняющего электродов можно добиться максимальной величины ионных токов обоих пучков.

Изменение режима напуска исследуемых газов и потенциала ионизации в широком диапазоне не вызывает заметного перераспределения ионных токов между пучками. При увеличении тока эмиссии катода общий ионный ток растет линейно, а ионные токи в пучках несколько перераспределяются.

Рассмотренный двухлучевой источник ионов обладает следующими преимуществами по сравнению с обычным источником нировского типа:

1. В совокупности с двумя независимыми масс-анализаторами ионный источник позволяет производить анализ любых двух компонентов анализируемой смеси одновременно.

2. Симметрия вытягивающих полей в ионизационной камере обеспечивает малый разброс ионов по энергиям, что позволяет увеличить решающую способность масс-спектрометра.

3. Локализация фокусирующего электронного пучка магнитного поля уменьшает его влияние на ионный пучок и обеспечивает более качественное формирование ионизирующего пучка электронов.

К недостаткам такого источника следует отнести его относительную конструктивную сложность и меньшую интенсивность каждого пучка ионов.

ЛИТЕРАТУРА

- А. С. Кузема, В. Ф. Шкурдора. Масс-спектрометры и их применение. Изд-во ин-та техн. информ., Киев, 1965.
Н. С. Зинченко. Курс лекций по электронной оптике. Изд-во ХГУ, Харьков, 1961.