

### Лабораторная работа № 7

# Исследование элементного и изотопного состава металлических образцов методом масс спектрометрии вторичных ионов

Студент допускается к данной работе лишь при условии выполнения лабораторной работы  $\mathfrak{N}$ 6 "Получение высокого вакуума и анализ состава остаточных газов»

#### Цель работы:

- 1. Получить навыки работы с высоковакуумными установками для исследования поверхности твердых тел.
- 2. Изучить методы получения ионных пучков.
- 3. Изучить методы и аппаратуру для измерения спектров масс в системе квадрупольного масс-спектрометра вторичных ионов XT 300M.
- 4. Получить навыки определения элементного состава методом ВИМС.

1. Введение	2
2. Основы метода вторично ионной масс спектрометрии (ВИМС)	2
3. Некоторые сведения об электронной оптике	8
4. Основные понятия и общие сведения о получении ионных	
пучков	10
5. Устройство и работа составных частей масс-спектрометра	
вторичных ионов XT300M	11
6. Задание	13
7. Требования к отчету	13
8. Контрольные вопросы	13
Дополнительная литература	13

#### Введение.

Вторичная ионная масс-спектрометрия (ВИМС) - современный и один из самых распространенных методов послойных исследований приповерхностных слоев твердого тела. Это обусловлено следующими обстоятельствами:

- 1. Анализирующий ионный пучок обеспечивает сигнал ВИМС и распыление (т.е. профилирование) одновременно.
- 2. Распыленные частицы отражают действительный элементный и химический состав приповерхностной области твердого тела.
- 3. Пучки ионов легко фокусируются и ими легко управлять, так что при сканировании пучком по поверхности можно получать карты распределения элементов и примесей, характеризующие распределение химического состава по поверхности. Таким образом, возможен трехмерный элементный и химический анализ.
- 4. При типичных для ВИМС энергиях и плотностях тока первичных ионов распыленные частицы поступают из верхних одного-двух атомных слоев поверхности, так что ВИМС является поверхностно-чувствительным методом и должен давать информацию с глубин, масштаб которых таков же, как у других методов спектроскопии поверхности.
- 5. Уникальной особенностью ВИМС по отношению к большинству других аналитических методов исследования поверхности является возможность различения содержания изотопов (изотопных эффектов) в приповерхностных слоях. Эта особенность, например, представляет ценность при изучении поверхностных химических реакций с использованием "меченых" реагентов.
- 6. Отметим также возможность исследования профилей распределения изотопов водорода в приповерхностных слоях, которые невозможно изучать ни одним из известных методов спектроскопии поверхности, кроме ВИМС.
- 7. Метод ВИМС относится к одному из самых чувствительных методов анализа.

#### Основы метода вторично ионной масс спектрометрии (ВИМС, SIMS).

Процесс распыления схематически можно представить следующим образом. Налетающая частица (ион), сталкиваясь с атомом мишени вследствие упругих взаимодействий, передает ему кинетическую энергию. Если переданная первичному атому энергия достаточно велика, то он может, в свою очередь, прежде чем полностью остановиться, сместить другие атомы, и так до тех пор, пока энергия движущегося атома остается больше энергии, необходимой для смещения атома. Таким образом, налетающий ион, обладающий высокой энергией, может вызывать каскад атомных смещений. Период развития каскада порядка 10-13 сек. Смещенные атомы, находящиеся близко к поверхности, имеют возможность вылететь с поверхности, т. е. происходит распыление. На рис.1 показано схематическое изображение процесса распыления атомов мишени вследствие образования каскада близко у поверхности.

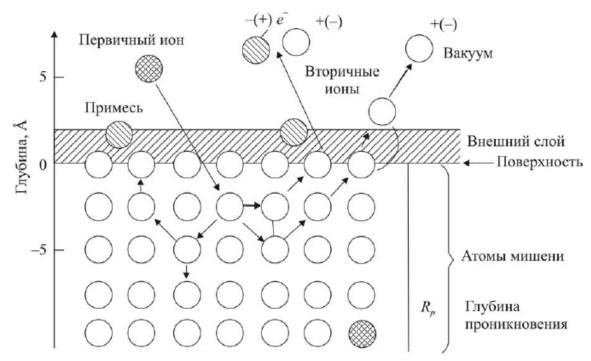


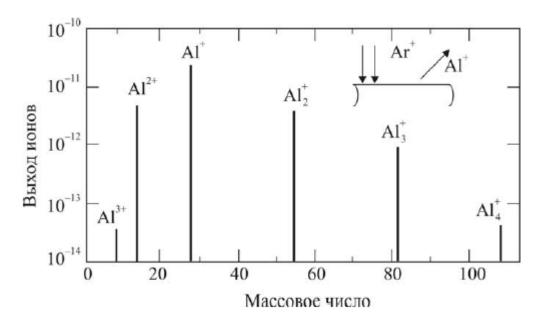
Рис. 1. Схематическое изображение процесса распыления

В процессе распыления атомы и молекулы выбиваются из наружных поверхностных слоев в виде нейтральных частиц, находящихся в нейтральном (возбужденном) состоянии, либо в виде положительных или отрицательных ионов. Процесс распыления включает сложную последовательность соударений (каскад столкновений) с изменением направления движения и обменом энергией между большим числом атомов твердого тела. Скорость распыления материала характеризуется в первую очередь выходом продуктов распыления У (коэффициент вторичной эмиссии или коэффициент распыления), который определяется следующим образом:

$$Y = \frac{\text{Среднее число вылетающих частиц}}{\text{Количество налетающих частиц}}$$

Выход продуктов распыления зависит от структуры, состава материала мишени, параметров ионного пучка и геометрии эксперимента. Самым важным параметром процесса является количество энергии, поглощаемой на поверхности. При распылении передача энергии атому поверхности и его последующее удаление определяются потерей энергии ионом в упругом столкновении с атомным ядром - механизмом ядерных потерь энергии. Именно этот механизм передачи импульса и энергии атомам твердого тела приводит к образованию вторичных частиц с высокой энергией и к распылению.

**Масс-спектры вторичных ионов.** Спектры как положительных, так и отрицательных вторичных ионов имеют сложную структуру, так как создаются не только однократно или многократно заряженными ионами атомов, но и всеми другими ионизованными кластерами. Как показано на рис. 2, спектр масс, полученный при бомбардировке алюминия ионами Аг, образован не только однократно, но и двухкратно, трехкратно ионизованными атомами, а также кластерами из двух, трех и четырех атомов. Однако в большинстве случаев преобладает выход однократно ионизованных атомов.



 $Puc.\ 2.$  Спектр вторичных ионных кластеров, получаемый при бомбардировке A1 ионами Ar. По оси ординат использован логарифмический масштаб. Преобладающим продуктом распыления является  $A^+$ , однако также наблюдаются  $A^{2+}$ ,  $A_2^+$  и  $A_3^+$  и др.

**Выход и состояние эмитированных частиц.** Покидая твердое тело, распыленные частицы имеют распределение энергий, соответствующее множеству случайных столкновений, из которых состоит процесс распыления. Полный выход продуктов распыления Y связан со спектром энергий Y(E) выражением

$$Y = \int_{0}^{E_{\text{max}}} Y(E) dE,$$

где  $E_{\it max}$  - максимальная энергия распыленных частиц

Спектральный выход положительно заряженных вторичных ионов Y(E) (коэффициент вторичной ионной эмиссии) связан со спектральным выходом продуктов распыления Y(E) соотношением

$$Y^+(E) = \alpha^+(E)Y(E),$$

а полный выход положительных ионов

$$Y^{+} = \int_{0}^{E_{\text{max}}} \alpha^{+}(E)Y(E)dE,$$

где вероятность ионизации  $\alpha+(E)$  зависит от энергии частиц и вещества подложки. На рис.3. приведено типичное энергетическое распределение вторичных ионов.

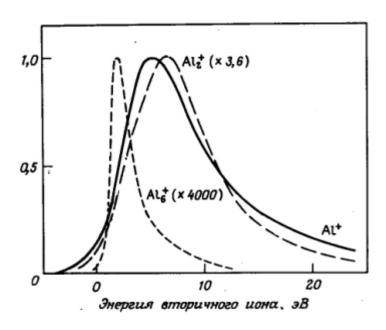


Рис.3. Нормированное распределение по энергии различных ионов при распылении мишени из Al под воздействием ионов  $Ar^+$  с 10 кэB.

Полный выход распыления отдельных элементов (рис.4.) может быть почти одинаков, а выход ионизованных компонентов может различаться на три порядка величины.

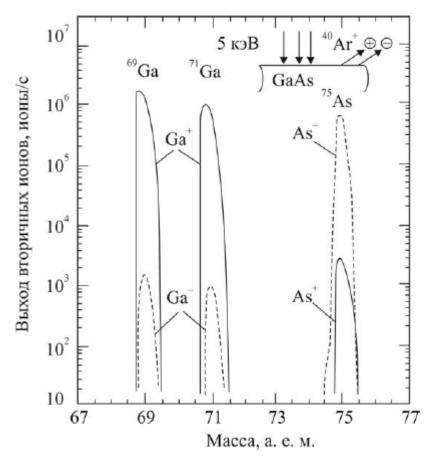


Рис.4. Выход положительных (сплошная линия) и отрицательных (штриховая линия) ионов при бомбардировке GaAs ионами Ar с энергией 5 кэв.

Главная трудность количественного анализа методом SIMS состоит в определении ионизации  $\alpha+(E)$ . Вероятность ионизации распыленных частиц вероятности определяется в первом приближении относительными различиями структуры атомов и заселенностью их возбужденных состояний. Пока нет единого теоретического подхода, который позволил бы точно предсказать вероятность ионизации элемента в любой матрице и сходя из фундаментальных положений. Это обусловлено тем, что в каскадах столкновений с большим количеством сильных соударений также происходит возбуждение атомов и их однократная и многократная ионизация. Возможен и обратный процесс, а именно девозбуждение и нейтрализация, наряду с образованием отрицательных ионов в результате захвата электронов. Однако состояние этих частиц, возникших внутри мишени, может изменяться при реакциях на расстояниях, не превышающих 5 нм от поверхности мишени. Например, возбужденная частица может вернуться в основное состояние, испустив квант света, или же ионизоваться. В табл. 1 указано несколько возможных процессов, в которых может участвовать испускаемая частица, и конечные состояния этих частиц (рис. 5.). Для частиц с низкой энергией (малой скоростью) вероятность выхода (выживания) мала, так как вследствие малой скорости они дольше остаются в зоне, где происходят реакции, а потому велика вероятность изменения их состояния в результате одной из реакций.

Таблица 1
Процессы, происходящие после выхода частицы в области, примыкающие к поверхности

Состояние эмитированной частицы*	Время жизни, с	Механизм	Конечное состояние частицы
<i>X</i> *	10 <sup>-2</sup> 10 <sup>-14</sup> 10 <sup>-14</sup>	Девозбуждение с испусканием света Оже-девозбуждение Резонансная ионизация	$X^0$ $X^0$ $X^+$
X***		Автоионизация	$X^{+}$
X <sup>+</sup>	10 <sup>-14</sup> 10 <sup>-14</sup> 10 <sup>-8</sup>	Оже-нейтрализация Резонансная нейтрализация Радиационная нейтрализация	$X^0$ $X^*, X^0$ $X^0$
$X^+, Y^0$		Обмен	$X^0, Y^+$
$(X^{+}Y^{-})^{*}$		Диссоциация ионных связей	X <sup>+</sup> +Y <sup>-</sup>
$X^0$		Электронный захват	<i>X</i> <sup>-</sup>

\* Состояние частиц:  $X^0$  — основное состояние атома;  $X^*$ — возбуждение;  $X^*$  и X — положительный и отрицательный ионы в основном состоянии.



Рис. 5. Различные зоны перед мишенью, в которых может изменяться первоначальное состояние эмитированных частиц

Например, нейтрализация положительного иона, покидающего поверхность, определяется уровнями энергии испускаемых атомов и наличием на поверхности

твердого тела электронов, которые могут заполнить свободный уровень. Представляется, что этот процесс наиболее вероятен, когда в твердом теле имеются электроны с энергией связи, в точности равной энергии незанятого уровня. При этих условиях может произойти резонансное туннелирование, нейтрализующее вылетающие атомы (рис.6.). Таким образом, вероятность нейтрализации зависит от зонной структуры твердого тела и атомных уровней энергии распыляемых ионов.

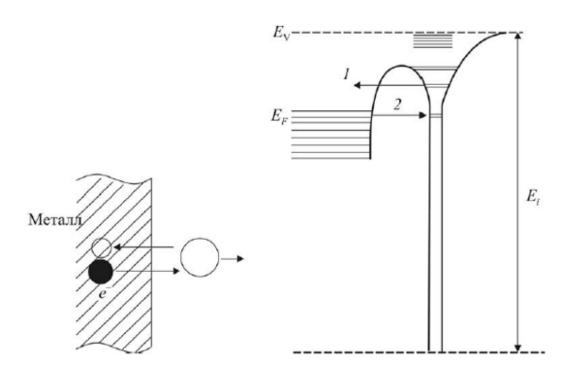


Рис. б. Модель электронной структуры иона или атома вблизи поверхности металла: Е<sub>F</sub> – энергия Ферми; Е<sub>i</sub> – энергия ионизации. Переходы: 1 – резонансная ионизация, 2 – резонансная нейтрализация

Выходы вторичных ионов очень чувствительны к присутствию положительных или отрицательных ионов на поверхности мишени (см. рис.1.).

Таким образом, эмиссия вторичных ионов определяется большим числом сложных процессов. Сейчас еще нет теории, полностью учитывающей все эти процессы. Однако существует ряд теорий, рассматривающих детали упомянутых процессов. Во многих случаях эти теории справедливы только при определенных условиях эксперимента (например, эмиссия из чистых металлов при бомбардировке их ионами аргона или кислорода) или же они относятся к вторичным ионам, обладающим определенной кинетической энергией.

Измеряемый сигнал I+ (который обычно представляется как число отсчетов в секунду) от моноизотопного элемента массой A с концентрацией  $C_A$  в мишени определяется выражением

$$IA + = CAI p\beta T\alpha + (E, \theta)Y(E, \theta)\Delta\Omega\Delta E,$$

где  $I_p$  - ток первичного пучка, ион/с; в и T - чувствительность детектора и эффективность прохождения сигнала в масс-анализаторе;  $\theta$  и E - угол и регистрируемая энергия системы детектирования;  $\Delta\Omega$  и  $\Delta E$  - телесный угол и «ширина» полосы пропускания фильтра энергий ионов.

Величины  $\alpha$ + и Y зависят от состава образца. Однако этой зависимостью обычно можно пренебречь, если, например, требуется определить распределение концентрации компонента с низким уровнем содержания в однородной по составу матрице.

Для получения большого выхода ионизованных частиц желательно уменьшить вероятность нейтрализации. Это можно осуществить созданием на поверхности образца тонкой оксидной пленки, приводящей к образованию большой запрещенной зоны и к уменьшению числа электронов, доступных для нейтрализации. Например, адсорбция кислорода вызывает увеличение выхода вторичных ионов. На рис.7 изображены выходы вторичных ионов при бомбардировке чистой и покрытой кислородом поверхностей металлов ионами Аг с энергией 3 кэВ. Увеличение выхода охватывает широкий диапазон от двух до трех порядков. Чувствительность метода к оксидированию поверхности является одним из его преимуществ; по этой причине SIMS-анализ часто выполняется для поверхности, «залитой» кислородом или облученной кислородным пучком.

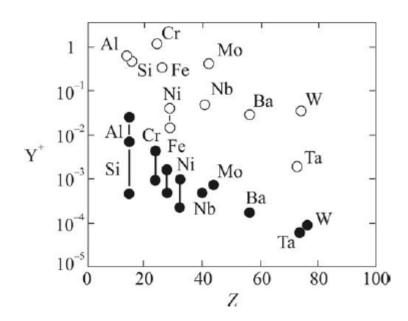


Рис.7. Выход вторичных положительных ионов на чистой ( $\mathbf{0}$ ) и покрытой кислородом (O) металлических поверхностях, подвергнутых распылению ионами Ar с энергией 3 кэВ

**Приложения SIMS.** Приложения SIMS можно разбить на пять широких, частично перекрывающихся областей: исследование поверхности, профилей распределения элементов по глубине, распределение по поверхности, микроанализ и анализ объема твердого тела. При этом анализ поверхности можно проводить в двух разных режимах: при малой и большой плотности тока распыляющего ионного пучка. В режиме малой плотности тока изменяется состояние лишь малой части поверхности, благодаря чему ПОЧТИ выполняется основное требование, предъявляемое к методам анализа самой поверхности. В режиме высоких плотностей токов и соответствующих больших скоростей распыления проводятся измерение профилей распределения элементов по глубине, микроанализ и определение следовых количеств элементов ( $< 10^{-4}$  %).

В области анализа поверхности SIMS применяется в основном для идентификации поверхностных атомов и молекул и для изучения динамики поверхностных явлений. В благоприятных условиях порог чувствительности SIMS приближается к 10-8 моноатомного слоя. Кроме того, динамику поверхностных процессов можно изучать, не внося заметных возмущений, поскольку для полного анализа достаточно удалить всего лишь 10-3 внешнего атомного слоя вещества. Методом SIMS исследуются такие поверхностные явления, как катализ, коррозия, адсорбция и диффузия. В установках SIMS, в которых предусмотрено все необходимое для напуска газа и нагревания образцов, можно изучать поверхностные процессы іп situ. Информация, содержащаяся в масс-спектрах положительных и отрицательных вторичных ионов, дает некоторое представление о характере поверхностной связи и механизмах взаимодействия между газом и поверхностью.

SIMS - один из самых эффективных методов диагностики поверхности среди применяемых для измерения распределения концентрации элементов по глубине образца. Предел разрешения по глубине при таком методе не превышает 5 нм, а порог чувствительности достигает  $10^{14}$  ат./см<sup>3</sup>. Этот метод используется для того, чтобы установить распределение концентрации примесей и изотопов при анализе тонких пленок, при изучении диффузии и ионного легирования.

Высокая чувствительность к большинству элементов, возможность регистрации атомов с малыми Z и анализа изотопов, высокое разрешение по глубине при измерении профилей концентрации и возможность изучения распределения элементов по поверхности делают SIMS методом трехмерного анализа изотопного и «следового» (определение элементов с малой концентрацией или содержащихся в локальных областях) состава твердого тела. Метод также эффективен при исследовании быстрых продуктов реакций и определении содержания газов в металлах.

Во многих случаях высокая чувствительность и широкие возможности метода SIMS компенсируют недостаточную количественную точность, позволяя извлекать качественные или полуколичественные сведения (особенно в плане качественного контроля при изготовлении и обработке поверхности - «инженерии поверхности»), которые невозможно получить в настоящее время другими методами.

#### 3. Некоторые сведения об электронной оптике

Электронная оптика является областью физической электроники, в которой рассматривается формирование, управление (распространение, транспортировка) и фокусировка ионных и электронных пучков. Отклонение и фокусировка электронного пучка происходит под действием электрических и магнитных полей, создаваемых соответствующим образом расположенными электродами и магнитами (так называемыми электронными линзами). Фокусирующие свойства этих линз определяются деталями их конструкции и в основных чертах аналогичны фокусирующим свойствам оптических стеклянных линз. К электронным линзам применимы обычные формулы оптических линз, а электронным изображениям присущи аберрации, аналогичные оптическим.

Основная задача, возникающая при создании электронно-оптической системы, состоит в таком подборе электродов и потенциалов т.е. создании определенной конфигурации эквипотенциальных поверхностей, который обусловил бы движение электронов по заранее намеченным траекториям, с резким фокусом в заданном месте пространства.

С теоретической точки зрения можно получить решение любой электростатической задачи о фокусировке электронов; т.е., зная начало и конец траектории электрона, определить форму электродов и величины потенциалов, необходимые для получения данной траектории.

На практике оказалось удобно пользоваться в качестве электронных линз цилиндрическими электродами, снабженными иногда диафрагмами. На рис.8. показано распределение эквипотенциальных поверхностей (в некоторой плоскости, проходящей через ось) между двумя цилиндрическими электродами, к которым приложены различные потенциалы V1 и V2.

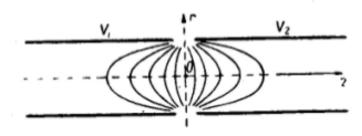


Рис. 8. Электронная линза, образованная двумя коаксиальными цилиндрами.

Несомненое сходство между этими «преломляющими поверхностями» и сферическими преломляющими поверхностями обычных оптических линз очевидно; действительно, такая система ведет себя всегда как линза для электронов. Силы, действующие на заряженную частицу и ее фокусировка показаны на рис.9.

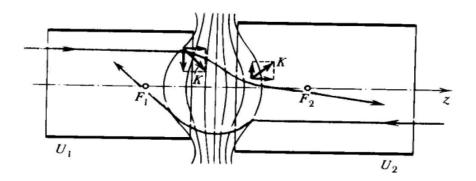


Рис.9. Иммерсионная линза, образованная двумя цилиндрами. Электронные траектории, входящие в линзу паралельно оптической оси, пересекают ось после прохождения линзы в главных фокусах F1 и F2.

В настоящей работе на выходе ионного источника используется электростатическая линза, состоящая из трех цилиндров. Студенту предлагается выполнить упражнение по изучению фокусировки этой линзы для достижения максимальной плотности тока на исследуемом образце.

Также в настоящей работе используется трехэлектродный иммерсионный объектив, предназначенный для сбора, ускорения и фокусировки в плоскости входной диафрагмы квадрупольного масс спектрометра вторичных ионов, выбитых из анализируемого образца первичным пучком.

## 4. Основные понятия и общие сведения о получении ионных пучков.

Наиболее часто в ускорительной технике применяют плазменные ионные источники, в которых ионы вытягиваются из газоразрядной плазмы. Плазма образуется в ограниченном объеме при ионизации нейтрального газа электрическим полем в газовом разряде или электронным ударом. Образовавшиеся ионы через систему отверстий попадают в пространство, где происходит формирование ионного пучка и его предварительное ускорение до энергии 10—50 кэВ. Высокую конечную энергию ионы приобретают в ускорительном промежутке.

Давление в камере ионного источника (1—0,1  $\Pi$ a) намного больше, чем в камере ускорителя ( $10^{-3}-10^{-4}\,\Pi$ a), поэтому молекулы нейтрального газа уходят из разрядной камеры. Эта убыль пополняется за счет непрерывного напуска газа в камеру. Для уменьшения расхода газа стремятся поддерживать в разрядной камере невысокое давление. Однако при этом может произойти существенное уменьшение объемной плотности ионов, которое компенсируется усилением ионизации за счет увеличения длины пути электронов в газе.

Обычно ионный источник состоит из разрядной камеры, в которой образуется плазма; устройства для непрерывного напуска газа; источника, сообщающего электронам энергию, необходимую для ионизации газа; катода; устройства для формирования и предварительного ускорения ионного пучка и системы охлаждения электродов.

Сравнительная оценка различных типов ионных источников, а также их выбор для использования в конкретных ускорителях осуществляется по процентному содержанию атомарных ионов в пучке, моноэнергетичности пучка, току пучка и его стабильности во времени. Кроме этих параметров важно знать ток разряда, расход газа, срок службы, способ охлаждения.

Газы, применяемые в ионных источниках, обычно состоят из двухатомных молекул: водорода, дейтерия, кислорода, азота. Поэтому при ионизации могут образоваться атомарные, молекулярные и многозарядные ионы. Условия ускорения каждой группы ионов различны, поэтому стремятся обеспечить наличие в пучке только наиболее устойчивых атомарных ионов. В ионных источниках содержание атомарных ионов составляет 50-90%.

Устройства для создания потоков низкотемпературной плазмы, обычно используемой в технологии микроэлектроники, называются плазмотронами. В зависимости от способа ионизации газа различают дуговые и индукционные плазмотроны. В дуговых источниках плазма образуется посредством сильноточного разряда, а в индукционных – используется СВЧ разряд.

В газоразрядной плазме ионы имеют различную энергию (от единиц до сотен эВ). Ее значение зависит от многих факторов: тока разряда, давления газа, условий ионизации. Разброс энергии ионов затрудняет формирование пучка с заданным сечением и вносит погрешность в измерения.

В настоящей работе используется ионный источник Пеннинга функциональная схема которого приведена на рис.10.

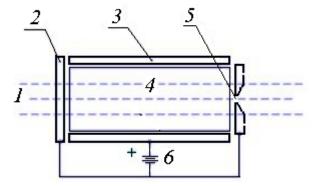


Рис. 10. Схема ионного источника Пенинга: 1-аксиальное магнитное поле, 2-катод, 3-анод, 4-плазма, 5- апертура, 6 -источник питания разряда.

На рис.11 приведена более подробная схема этого источника. Плазма создается в дуговом разряде и усиливается за счет осцилляции электронов в продольном магнитном поле. Анод 1 имеет форму полого цилиндра, по обеим сторонам которого на некотором расстоянии расположены два катода 2 и 3, имеющих обычно форму плоских дисков. В одном из катодов 3 имеется отверстие диаметром 0,5 мм,

обеспечивающее необходимую плотность тока и осуществляющее перепад давления между разрядной камерой и областью транпортировки ионов. Магнитное поле создается постоянным магнитом 4 и ориентировано вдоль оси системы.

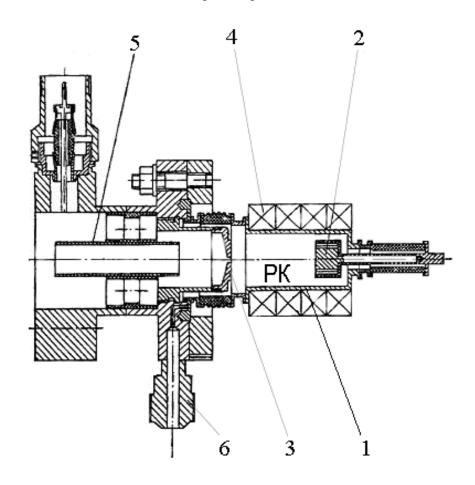


Рис.11. Ионный источник с разрядной ячейкой Пеннинга в составе массспектрометра вторичных ионов MX300M

При определенной разности потенциалов между анодом и катодами возникает газовый разряд. Осевое магнитное поле заставляет электроны двигаться по циклоидальным или спиральным траекториям с одновременной осциляцией их между катодами, что увеличивает длину пути электронов и, следовательно, вероятность ионизации рабочего газа. Прежде чем попасть на анод, электроны многократно пролетают пространство между катодами, ионизуя газ.

При высоковольтном разряде отпадает необходимость в вытягивающих напряжениях. Образующиеся ионы приобретают энергию в большом катодном падении потенциала пролетают через отверстие в одном из них 3 попадают в пространство фокусировки и предварительного ускорения. На выходе ионных источников расположены трехэлектродные линзовые блоки (поз. 5), позволяющие изменять степень фокусировки первичного пучка на поверхности исследуемого образца. Газ поступает через трубку напуска 6.

Напряжение горения разряда зависит от материала катодов (Al, Mg, Be, Fe - 350-500 В). Типовые размеры источника следующие: расстояние между катодами 25 мм, диаметр отверстия в катоде 1-2 мм, индукция магнитного поля около 0,1 Тл.

Эти источники могут работать в непрерывном и импульсном режимах. Анодное напряжение не более 2-3 кВ, ток пучка 1-10 мА в непрерывном и 10-300 мА в импульсном режиме.

Основной недостаток таких источников – большой разброс энергий ионов (до 100 эВ), но они просты в эксплуатации и могут применяться как в линейных, так и в циклических ускорителях.

Наиболее совершенный источник—дуоплазмотрон (рис.12), в котором для получения ионов используют дуговой разряд с термокатодом при наличии магнитного поля. В нем плотность плазмы увеличивается путем последовательного сжатия потока электронов в электрическом и магнитном поле

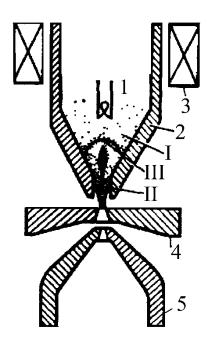


Рис. 12. Схема дуоплазматрона: 1 - катод; 2- промежуточный электрод, 3 – катушка электромагнита, 4- анод, 5 - экстрактор; І- катодная плазма, ІІ- анодная плазма; ІІІ- двойной слой, ускоряющий и фокусирующий электроны.

В промежуточном электроде (Fe) сделано отверстие малого диаметра. Анод (Fe) имеет вольфрамовую вставку с отверстием. В зазоре между анодом и промежуточным электродом возникает неоднородное магнитное поле. На катод подают напряжение около –100 В, на промежуточный электрод – около –50 В, на вытягивающий – (5-60) кВ. Анод заземлен.

Под действием разности потенциалов между катодом и промежуточным электродом возникает дуговой разряд низкого давления. В сужении промежуточного электрода происходит сжатие разряда и существенно возрастает плотность заряженных частиц. При движении электронов к аноду на них действует магнитное поле, в результате чего происходит дополнительное сжатие разряда и возрастание концентрации ионов до  $10^{12}-10^{14}\,\mathrm{cm}^{-2}$ . При такой плотности плазма приобретает положительный потенциал относительно анода, и часть электронов возвращается обратно в плазму, а поток ионов к аноду возрастает.

Отбор ионов из области анодного отверстия происходит под действием электрического поля вытягивающего электрода. В дальнейшем пучок попадает в систему фокусировки.

Разброс энергии ионов не превышает 10 эВ, ионный ток в импульсном режиме достигает 1 А, рабочее давление - 1 Па.

#### 5. Устройство и работа составных частей масс-спектрометра вторичных ионов XT300M

Высоковакуумная часть масс-спектрометра вторичных ионов XT300M, функциональная схема которого представлена на рис.13, состоит из высоковакуумной камеры, в которой расположены следующие основные узлы:

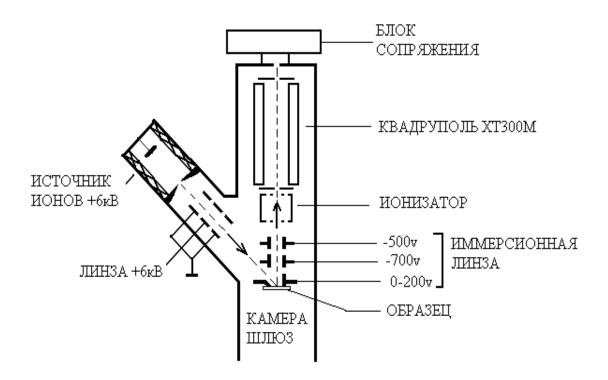


Рис.13. Функциональная схема масс-спектрометра вторичных ионов MC-7201M

- 1) ионный источник с оптической системой фокусировки первичного пучка;
- 2) иммерсионный объектив;
- 3) масс сепаратор квадрупольный масс спектрометр ХТ300М
- 4) держателя образцов со шлюзовой камерой

#### 1.1. Технические характеристики основных узлов установки:

- 1) напряжение анодов ионных источников порядка 6кВ;
- 2) напряжение на оптике ионных источников порядка 6 кВ;
- 3) напряжение на образцах 0-200 В;
- 4) напряжение второго электрода иммерсионного объектива около минус 600 В;

#### 1.1.4. Иммерсионный объектив

Иммерсионный объектив (рис.14) предназначен для сбора, ускорения и фокусировки в плоскости входной диафрагмы квадруполя (поз. 6) вторичных ионов, выбитых из анализируемого образца первичным пучком (поз. 1). Конструктивно он выполнен из трех электродов, в которых имеется отверстия, расположенные на электронно-оптической оси прибора. К внешнему крайнему электроду (поз. 3) прижимается исследуемый образец (поз. 2). На этот электрод подается регулируемое напряжение 0-200 В, на второй электрод (поз. 5) подается напряжение до минус 700 В, на третий - до минус 500 В. Оптимальные значения напряжений устанавливаются при настройке МС на максимальный сигнал измеряемых вторичных ионов.

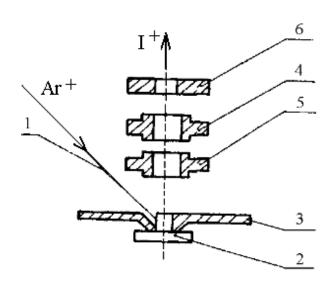


Рис. 14. Упрощенная схема иммерсионного объектива.

#### 6. Задания

- 1. Получить в установке высокий вакуум.
- 2. Получить ионный пучок с энергией ионов 6кэВ.Измерить зависимость тока пучка на образце от фокусирующего напряжения на линзе.
- 4. Рассчитать плотность тока ионного пучка.
- 3. Получить масс спектры металлических образцов, расшифровать масс пики, определить элементный и изотопный состав.

Подробная пошаговая инструкция по выполнению измерений в данной задаче приводится в отдельном файле в практикуме.

#### 7. Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- 1. Краткие сведение о о физических основах метода масс спектрометрии вторичных ионов:
- 2. Блок-схему установки МС-7201М с объяснением назначения узлов;
- 3. Экспериментальные данные по току пучка в зависимости от фокусирующего напряжения, плотность тока пучка.
- 4. Распечатку экспериментальных данных ( масс спектры);
- 5. Анализ полученных результатов
- 6. Выводы по работе.

#### 8. Контрольные вопросы

- 1. Каковы физические основы вторично-ионной масс-спектрометрии?
- 2. Что такое изотопы? Что такое дефект массы?
- 3. Какие типы масс-анализаторов Вы знаете?
- 4. Перечислите способы ионизации для получения ионных пучков.
- 5. Из каких основных блоков состоят ионные пушки?
- 6. В чем заключается принцип работы электростатической фокусировки пучков заряженных частиц?
- 7. В чем заключается принцип работы источника ионов установки МС-7201М?
- 8. Объясните, используя схему установки XT300M, назначение его отдельных элементов.

#### Дополнительная литература

- 1. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.: Мир,1989.
- 2. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. М.: Мир,1989.
- 3. Нефедов В.И., Черепин В.Т.. Физические методы исследования поверхности твердых тел. М.: Наука, 1983.