

Темы лекции

- 1. Параметры ионных источников.*
- 2. Конструктивные элементы ионных источников.*
- 3. Дуоплазматрон и ионный источник Пеннинга.*

Ионный источник – устройство для получения в вакууме ионного пучка – пространственно сформированного потока ионов, скорость направленного движения которых много больше их тепловых скоростей.

Ионный источник состоит из собственно источника ионов и устройства их экстракции. Атомы ускоряемых элементов могут вводиться в ионный источник либо напуском (в виде газа), либо испарением (жидкой или твердой примеси). В ионном источнике они ионизируются и вытягиваются соответствующим потенциалом, приобретая нужную энергию.

К источнику ионов предъявляют следующие требования:

- стабильность пучка во времени;
- получение нужных ионов с определенным зарядом;
- получение нужной плотности ионного тока.

Важнейшие параметры ионного источника:

- ❖ полный ток и плотность тока ионного пучка;
- ❖ энергия ионов;
- ❖ характерный поперечный размер пучка;
- ❖ качество пучка, его пространственная и скоростная сформированность – эффективный угол расходимости и энергетический разброс ионов;
- ❖ компонентный состав пучка – положительные и отрицательные ионы, атомарные, молекулярные, многозарядные ионы;
- ❖ газовая эффективность – отношение потока сформированных ионов к потоку газа, подаваемого в ионный источник;
- ❖ энергетическая эффективность ионного источника – отношение мощности пучка к мощности потребляемой ионным источником от сети.

Существуют различные типы источников ионов: с горячим, холодным и полым катодами; дуоплазмотроны; источники с ВЧ- и СВЧ - возбуждением; с поверхностной ионизацией.

В ионном источнике обеспечивается возбуждение атомов рабочего газа до энергии, превышающей потенциал ионизации атома, для образования положительно заряженных ионов.

Обычно ионные источники включают следующие конструктивные элементы:

1. разрядную или ионизационную камеру, которая является несущей конструкцией источника;
2. анод, предназначенный для создания электрического поля внутри разрядной камеры;
3. источник электронов (термокатод), инжектирующий электроны для ионизации газа;
4. магнитную систему, повышающую эффективность ионизации и плотность плазмы;
5. электроды, экстрагирующие ионы, и электроды первичной фокусировки пучка.

Работу источника ионов обеспечивают вспомогательные устройства:

- система подачи газа;
- устройство испарения вещества;
- источники питания.

Любой ионный источник состоит из двух основных узлов:

- эмиттера ионов,
- электростатической системы, с помощью которой ионы извлекаются, ускоряются и формируются в направленный поток – ионно-оптическая система (ИОС).

В простейшем виде ионный источник состоит из эмиттера и ускоряющего электрода – экстрактора с отверстием для выхода ионного пучка.

Для дополнительной фокусировки ускоренного пучка используются электростатические и магнитные линзы.

ИОС различных ионных источников строятся по единому принципу, и главным фактором, определяющим тип ионный источник, является метод создания эмиттера ионов.

В зависимости от физической природы эмиттера ионов различают несколько типов ионных источников:

- с поверхностной ионизацией, где эмиттером ионов служит поверхность накаливаемого материала, работа выхода которого превышает потенциал ионизации падающих на него атомов;**
- плазменные, в которых ионы отбираются с поверхности плазмы, образуемой в большинстве случаев с помощью газового разряда;**
- "полевые", в которых ионы образуются благодаря действию сильного электрического поля ($\sim 10^8$ В/см) на и вблизи поверхности твёрдого тела, ионы которого необходимо получить.**

В установках для элементного и структурного анализа, использующих ионные пучки, применяются исключительно плазменные ионные источники.

Наиболее широко используемым плазменным ионным источником является **дуоплазмотрон**

1 – катод из вольфрама или гексаборида лантана;

2 – промежуточный анод;

4 – анод;

3 – соленоид, создающий магнитное поле \sim кГс;

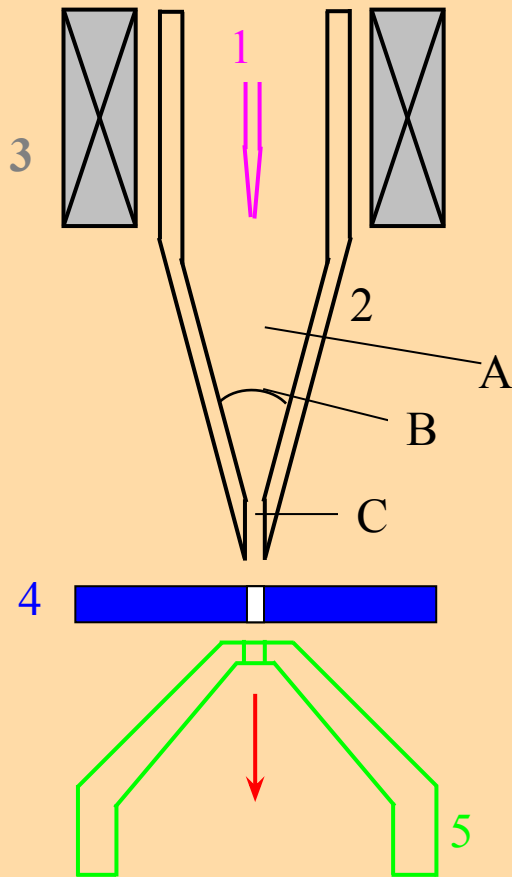
5 – вытягивающий электрод

ионно-оптической системы.

Анод и промежуточный анод

изготовлены из ферромагнитного материала

и образуют магнитную цепь.



В дуоплазмотроне для увеличения степени ионизации столб разряда подвергается механическому и магнитному, сжатию с помощью диафрагм и магнитного поля, нарастающего к анодному отверстию малого диаметра. Сжатие разрядной дуги в узком канале промежуточного электрода сопровождается возникновением плазменного "пузыря" со скачком потенциала в слое, отделяющем катодную плазму А от более плотной анодной плазмы С.

В тонком слое В ускоряются и фокусируются электроны, выходящие из плазменной области А в плазменную область В. Вблизи анода 4 плотная плазма дополнительно сжимается сильным неоднородным магнитным полем, сечение плазмы вблизи выходного отверстия уменьшается, а концентрация ионов в плазме возрастает до 10^{14} – 10^{15} см⁻³. Такая плазма эмитирует ионы с плотностью в десятки А/см², т. е. образуется "точечный" эмиттер.

Давление рабочего газа в промежуточном аноде составляет $\sim 10^{-2}$ Тор.

Дуоплазматрон позволяет получать ионы газообразных элементов с высокой плотностью ионного тока. Рабочий газ, ионы элементов которого необходимо получить, поступает в область промежуточного электрода через регулируемый натекатель. Среди других ионных источников **дуоплазматрон отличается высокой газовой эффективностью.**

Дуоплазматрон требует достаточно сложного электропитания, которое включает:

- питание накала катода (в случае W катода $U = 5-10$ В, $I = 10-40$ А);
- питание промежуточного анода $U = 0-100$ В, $I = 0-0,5$ А;
- питание анода $U = 0-250$ В, $I = 0,5-2$ А;
- питание соленоида $U = 0-10$ В, $I = 0-50$ А.

все эти источники питания находятся под высоким положительным ускоряющим потенциалом, определяющим энергию ионов, вытягиваемых из ионного источника.

Второй тип ионного источника, также широко используемый в различных методиках анализа – **ионный источник с холодным катодом или ионный источник Пеннинга.**

В данном ионном источнике зажигание газового разряда осуществляется за счет пробоя газового промежутка катод-анод, между которыми прикладывается напряжение несколько сотен вольт. Напряжение на разрядном промежутке должно быть минимальным для зажигания и поддержания стабильного газового разряда. Напряжение зажигания зависит от материала катода. Для большинства материалов оно составляет несколько кВ. Однако, для некоторых "низковольтных" материалов", таких как алюминий, магний, оно составляет сотни вольт. У этих материалов тонкая окисная пленка на поверхности понижает напряжение зажигания за счет того, что окисная пленка является диэлектриком, а у диэлектриков большой коэффициент ионно-электронной эмиссии.

Газовый разряд горит в продольном магнитном поле, создаваемом, как правило, постоянным магнитом с индукцией несколько кГс, между двумя катодами и кольцевым анодом. Катоды источника изготавливаются из алюминия, корпус – из мягкого железа для замыкания магнитных линий. Эмиссия электронов из катодов происходит за счет их бомбардировки ионами разряда. За счет приложенного магнитного поля электроны движутся по спирали, что увеличивает их путь и число ионизирующих соударений на пути катод-анод.

Давление рабочего газа в ионном источнике 10^{-3} - 10^{-4} Тор.

Извлекаемый ионный ток в стационарном режиме до нескольких миллиампер.

Основные достоинства ионного источника Пеннинга:

- простота электропитания, под высоким потенциалом, который прикладывается к корпусу источника, находится только один регулируемый выпрямитель питания анода,
- отсутствие накаливаемого катода, что позволяет длительно эксплуатировать источник без вскрытия на атмосферу.
- низкое рабочее давление в ионном источнике.

Недостатком является малый вытягиваемый ионный ток. Однако, в случаях, когда не требуются его большие значения, простота источника Пеннинга является решающим обстоятельством.