

ИОННЫЙ ИСТОЧНИК ТОКА. РАСЧЕТ ИОННОГО ИСТОЧНИКА ТОКА

Б.С. Маенков

Самарский университет, г. Самара

Ионный источник — устройство для получения в вакууме ионного пучка — пространственно сформированного потока ионов, скорость направленного движения которых много больше их тепловых скоростей. Ионный источник — неотъемлемая часть ускорителей, инжекторов быстрых атомов для термоядерных систем, установок электромагнитного разделения изотопов, масс-спектрометров, технологических установок различного назначения и др. 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 в ускоритель, где приобретают нужную энергию. К источнику ионов предъявляют следующие требования: стабильность пучка во времени; получение ионов с определенным зарядом, нужной плотности тока при низких экстрагирующих напряжениях; простота перестройки с одного ускоряемого элемента на другой и замены самого источника. Известны различные типы источников ионов: с горячим, холодным и полым катодами; дуоплазмотроны; источники с ВЧ- и СВЧ - возбуждением; с поверхностной ионизацией.

Ионный источник тока с поверхностной ионизацией.

Один из известных способов получения ионов состоит в том, что поток атомов, направленный на поверхность твёрдого тела, выбивает из неё положительные и отрицательные ионы. В качестве электронного источника тока в работе будет использована лампа накаливания 3,5 В с вольфрамовой нитью. В ходе эксперимента была рассчитана плотность тока термоэлектронной эмиссии по формуле Ричардсона — Дешмана:

$$j = (1 - hRi)A \cdot T^2 \cdot e^{-q\phi/kT}$$

Где hRi - усреднённое по спектру термоэлектронов значение коэффициента отражения электронов от потенциального порога; A – термоэлектрическая постоянная по Зоммерфельду; $q\phi$ - работа выхода электронов из катода; q – заряд электрона; k – постоянная Больцмана; h – постоянная Планка; T – термодинамическая температура. По расчетам эмиссия составила 3.0884 мА/см², что вполне удовлетворяет условию, т.к. в ионных источниках с поверхностной ионизацией эмиссия обычно составляет от 1 до 10 мА/см².

Вероятность ионизации исследуемого вещества

Сечение ионизации атомов или молекул анализируемого вещества электронами, эмитируемых катодом ионного источника, определяется с помощью аппроксимационной формулы Лотца-Дрэвина:

$$\sigma = 2,66 \cdot \pi \cdot a_0^2 \cdot l \cdot \frac{Rd^2}{U_i^2} \cdot \beta_1 \cdot \frac{(U/U_i) - 1}{(U/U_i)^2} \ln(1,25 \cdot \beta_2 \cdot U/U_i),$$

Где a_0 – радиус первой Боровской орбиты атома водорода; l – число валентных электронов на внешней оболочке ионизируемого атома; Rd – потенциал ионизации атома водорода по Ридбергу; U – энергия ионизирующих электронов; U_i – потенциал ионизации атома; β_1 и β_2 – аппроксимирующие коэффициенты молекулы;

Данная аппроксимация базируется на расчёте сечения ионизации атома водорода. Некоторое усложнение расчёта, вызванное необходимостью подбора коэффициентов β_1 и β_2 , окупается высокой степенью соответствия расчётных и экспериментальных данных.

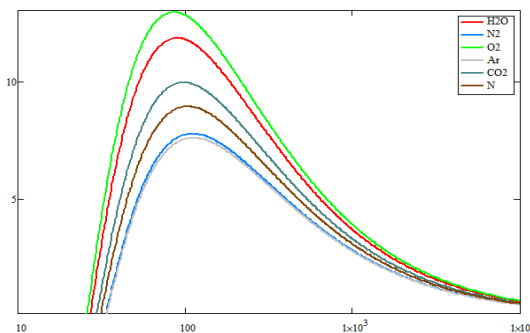


Рисунок 1 – Приведенное сечение ионизации для различных газов

Рисунок 1 показывает приведенное сечение ионизации для различных газов, рассчитанное по формуле аппроксимации Лотца-Дрэвина. Нижняя кривая характеризует сечение ионизации гелия (He), средняя – углекислого газа (CO_2), верхняя – азота (N_2).

По результатам приведенных расчётов были проделаны экспериментальные работы, которые подтвердили расчётные данные. Это свидетельствует о соответствии предложенной методики расчёта и контроля вольфрамового катода ионного источника. Аппроксимация Лотца-Дрэвина при правильном подборе коэффициентов обеспечивает удовлетворительное математическое описание процессов ионизации газовой плазмы.

Список использованных источников

1. Поверхностная ионизация [Текст]/ Зандберг Э. Я., Ионов Н. И.; Москва Наука 1969г. 432с
2. Явление переноса в газах и плазме [Текст]/ Жданов В.М.; МИФИ Москва 2008г.