

T-666

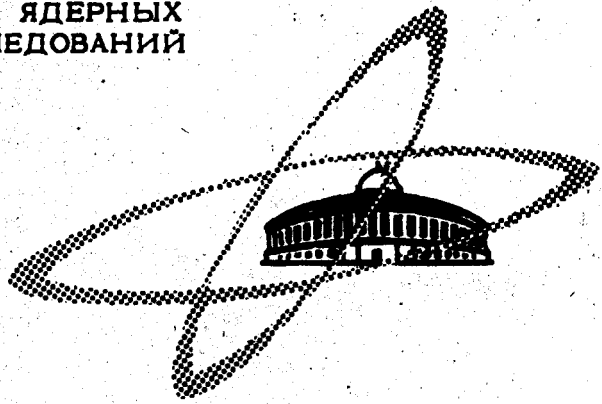
ПТЭ, 1970, №5, с. 40-44

12/v-70

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

P7 - 5004



Ю.П. Третьяков, Л.П. Кулькина, В.И. Кузнецов,  
А.С. Пасюк

ЭКОНОМИЧНЫЙ ИСТОЧНИК  
МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ КАЛЬЦИЯ  
И ЦИНКА

АССОЦИАЦИЯ СОВЕТСКИХ НАУЧНЫХ ЦЕНТРОВ

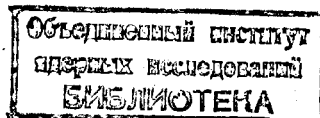
1970

P7 - 5004

Ю.П. Третьяков, Л.П. Кулькина, В.И. Кузнецов,  
А.С. Пасюк

ЭКОНОМИЧНЫЙ ИСТОЧНИК  
МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ КАЛЬЦИЯ  
И ЦИНКА

Направлено в ПТЭ



На основе получившего широкое применение дугового источника многозарядных ионов (м.з.и.) с подогревным катодом <sup>/1/</sup> в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ разработаны источники для получения ионов элементов, не имеющих газообразных соединений в нормальных условиях <sup>/2,3/</sup>.

В источнике, описанном в <sup>/2/</sup>, применено катодное распыление рабочего вещества. В газоразрядную камеру вводится электрод из рабочего вещества, закрепленный на изолированном охлаждаемом держателе. На держателе электрода от отдельного выпрямителя подается отрицательный (по отношению к газоразрядной камере источника) потенциал. Ионы плазмы дугового разряда, который зажигается на вспомогательном газе, бомбардируют электрод. Распыляемое таким образом рабочее вещество поступает в разряд и ионизируется. Изменением отрицательного потенциала распыляемого электрода осуществляется регулировка подачи рабочего вещества.

Источник м.з.и. кальция и цинка <sup>/3/</sup> снабжен тиглем для их испарения, который подогревается коаксиальным нагревателем. Пары рабочего вещества заполняют неохлаждаемую газоразрядную камеру источника. Камера разогревается вначале разрядом на вспомогательном газе, достигнутая рабочая температура поддерживается затем разрядом в парах рабочего вещества.

Тип газового разряда и, следовательно, механизм ионообразования в источниках <sup>/1-3/</sup> одинаков. Поэтому относительный выход ионов различных зарядностей одинаков для элементов, условия многократной ионизации которых близки (сравни, например, относительный выход ионов аргона <sup>/1/</sup> и кальция <sup>/2/</sup>, стоящих рядом в периодической системе элементов).

Наибольший интерес для физики представляют интенсивные пучки ускоренных ионов тяжелых изотопов цинка и кальция.

В рассматриваемой работе проведено исследование источника м.э.и. с катодным распылением <sup>/2/</sup> на кальции и цинке. Особое внимание уделено вопросу экономии рабочего вещества. Предлагается конструкция экономичного источника многозарядных ионов кальция и цинка.

#### Методика и результаты исследований

Измерения расхода рабочего вещества и его распределения внутри газоразрядной камеры были сделаны в ходе испытания источника м.э.и. на стенде ионных источников Лаборатории ядерных реакций. Расход кальция определялся методом взвешивания распыляемого электрода. Распределение атомов и ионов кальция в разряде изучалось оптическим методом <sup>/4/</sup>. Характеристический спектр излучения ионов плазмы и атомов получался с помощью кварцевого спектрографа ИСП-28. Регистрация спектра производилась на аэрофотопленку, обработка спектрограмм велась путем микрофотометрирования.

Оптимальный расход кальция в источнике <sup>/2/</sup> составил 0,1 г/час при скважности 10 или 1 г/час в непрерывном режиме. В виде ионов из источника извлекалось 4% этого количества. Основная масса кальция, поступившего в разряд, оседала на боковых и передней стенках газораз-

рядной камеры. Слой металла покрывал участок стенок, приблизительно равный по высоте размеру электрода. Химическим путем (растворение кальция 1-процентным раствором соляной кислоты и последующее выделение в виде карбоната или окиси) из полости газоразрядной камеры удается собрать 93-95% распыленного кальция.

С помощью оптического метода были получены спектрограммы, дающие представление о распределении атомов и ионов кальция по высоте плазменного столба в источнике. Наблюдения велись через отверстия в передней стенке газоразрядной камеры. Результаты микрофотометрической обработки спектральных линий Ca I 5857,46 Å, Ca II 3706,03 Å и Ca III 3772,68 Å приведены на рис. 1, из которого видно, что местонахождение нейтральных атомов и ионов кальция ограничено по высоте местом расположения распыляемого электрода. Спектральные измерения проведены при подаче газа только в прикатодную область, а также одновременной подаче газа в области катода и антикатода. (Количества вспомогательного газа, которые подавались в области катода и антикатода, равны оптимальному при подаче газа в прикатодную область). Никаких различий в распределении ионов и атомов кальция в обоих случаях замечено не было.

Можно полагать, что ионы уходят на стенки разрядной камеры быстрее, чем к катоду и антикатоду вдоль магнитного поля. Это явление связано, вероятно, с "аномальной диффузией" плазмы положительного столба разряда поперек магнитного поля, которая может быть вызвана низкочастотными колебаниями плазмы.

При работе источника на газах (например, аргоне /1/) из эмиссионной щели в виде ионов извлекается практически весь газ, поступающий в камеру. Причиной большого расхода распыляемого рабочего вещества является то, что ионы металлов, достигающие холодной стенки камеры, остаются на ней после нейтрализации, в то время как атомы

газов снова поступают в разряд. Повышение температуры стенок газоразрядной камеры до значений, при которых рабочее вещество интенсивно сублимирует, позволяет значительно уменьшить его расход.

### Конструкция источника

Конструкция источника представлена на рис. 2. Газоразрядная камера (16) и ее передняя стенка (2) изготовлены из нержавеющей стали, вкладыш (3) с эмиссионной щелью (4) — из молибдена. Камера теплоизолирована от охлаждаемых штоков с помощью титановых шайб (8). Температура камеры контролируется хромель-алюминиевой термопарой, помещенной в гнездо (15) камеры.

Распыляемый электрод (13) крепится на медном держателе (12), охлаждаемом водой. Держатель зажат на изоляторах (11) между задней стенкой газоразрядной камеры и скобой (14) из нержавеющей стали. Положение распыляемой грани электрода относительно столба разряда регулируется винтами. Детали установки электрода закрыты кожухом (10) для предотвращения потерь кальция. Специальных мер по герметизации камеры не принималось. Молибденовые пластины (1) защищают камеру и штоки от оплавления током вторичных электронов, которые вытекают из вытягивающего электрода ионным пучком. Вспомогательный газ (ксенон) подается в прикатодную область через отверстие (5) по трубке (9) из нержавеющей стали.

Электрод из кальция устанавливался так, что распыляемая грань касалась первичного пучка электронов. Зазор между краями отверстия в задней стенке газоразрядной камеры и электродом был равен 0,5 мм, площадь распыляемой грани — 6 x 25 мм.

Источник был опробован на стенде в поле  $H = 4$  кэ, ионы извлекались напряжением 15 кв. Разрядом на ксеноне без подачи потенциала

на распыляемый электрод камера источника была разогрета до  $\approx 850^{\circ}\text{C}$ . В этом режиме ионов кальция в извлеченном пучке обнаружено не было. В рабочем режиме ток на распыляемый электрод составлял 1,5 а при потенциале электрода 270 в. Ток и напряжение дуги равнялись 8,5 а и 600 в.

Ток ионов кальция из источника был равен 60 ма, т.е. примерно половине вытянутого тока (в работе <sup>1/2</sup> доля кальция - 60%). Состав пучка по зарядностям был тот же, что и при выполнении работы <sup>1/2</sup>. Расход кальция составлял  $0,011 \frac{\text{г}}{\text{час}}$  (скважность 10) или 0,11 г/час в непрерывном режиме. Таким образом, из эмиссионной щели в виде ионов извлечено  $\approx 25\%$  израсходованного кальция.

Спектр разряда в описываемом источнике наблюдался через щель шириной 1 мм, проходящую по всей высоте передней стенки камеры. Результаты микрофотометрирования линий CaI, CaII и CaIII представлены на рис. 1. Ширина кривых распространения интенсивности линий кальция по высоте несколько больше, чем для источника с охлаждаемой разрядной камерой. Но и здесь зона распределения кальция значительно меньше высоты столба разряда.

Были проведены опыты по сбору распыленного кальция с деталей источника. С деталей установки распыляемого электрода собрано 55-60% израсходованного кальция, в основном с охлаждаемого держателя электрода и изоляторов. На охлаждаемых штоках источника и деталях, размещенных в штоках, кальция обнаружено не было. Интересно, что отношение количества кальция, вытянутого из эмиссионной щели источника, к количеству кальция, вышедшего через зазор распыляемый электрод - камера, равно отношению площадей эмиссионной щели ( $1 \times 15 \text{ мм}^2$ ) и зазора ( $62 \times 0,5 \text{ мм}^2$ ).

Во время исследований работы источника на цинке основное внимание было уделено получению интенсивных пучков многозарядных ионов.

В качестве вспомогательного газа использован криптон. В оптимальном режиме ток ионов цинка был  $\approx 80$  ма (более 95% общего ионного тока), ток по зарядностям приведен в таблице.

Таблица

Заряд иона	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+
Ток, ма	15,0	13,4	6,8	3,2	1,0	0,22	?	0,012

Примечание: Примесь иона  $N^{2+}$  помешала измерению тока иона  $Zn^{9+}$ .

Ток и напряжение дуги равнялись 10 а и 460 в, ток и напряжение на распыляемом электроде - 0,8 а и 360 в, температура газоразрядной камеры была равна  $570^{\circ}C$ . Расход цинка при скважности 10 составлял 0,017-0,02 г/час (в источнике, описанном в работе <sup>12/</sup>, - 0,15-0,2 г/час).

В стендовых испытаниях источник работал в течение 8 часов без перемещения электрода, затем электрод снимался для взвешивания. Электроды использовались многократно, но после каждого взвешивания держатель приближался к разрядной камере для установки электрода в оптимальное положение.

### В ы в о д ы

1. Рабочее вещество, поступающее в разряд в результате распыления, полностью ионизуется. Из газоразрядной камеры оно выходит через эмиссионную щель в виде ионов, остальная часть распыленного вещества оседает на охлаждаемых деталях источника в районе расположения распыляемого электрода.



2. Нагрев газоразрядной камеры позволяет значительно сократить расход рабочего вещества. Предлагается одна из возможных конструкций источника с горячей газоразрядной камерой, в котором импульсная подача рабочего вещества осуществляется катодным распылением.

В заключение авторы выражают свою благодарность Г.М. Соловьевой, выполнившей конструктивное оформление источника, и Й. Дуде, который осуществил сбор кальция с деталей установки и его выделение.

Нам приятно поблагодарить Е.Д. Воробьева за постоянную поддержку и большую помощь в работе.

#### Л и т е р а т у р а

1. П.М. Морозов, Б.Н. Маков, И.С. Иоффе. АЭ, 2, 272 (1957);  
А.С. Пасюк, Ю.П. Третьяков, С.К. Горбачев. АЭ, 24, 21 (1968).
2. Ю.П. Третьяков, А.С. Пасюк, Л.П. Кулькина, В.И. Кузнецов. Препринт ОИЯИ, Р7-4477, Дубна, 1969.
3. А.С. Пасюк, Е.Д. Воробьев, Р.И. Иванников, В.И. Кузнецов, В.Б. Кутнер, Ю.П. Третьяков. Препринт ОИЯИ, Р7-4488, Дубна, 1969.
4. Л.П. Кулькина, А.С. Пасюк. ЖТФ, 36, 726 (1966).

Рукопись поступила в издательский отдел

25 марта 1970 года.