

УДК 537.533

## **Дозвуковая магниевая мишень на основе вакуумной дуги**

*А. С. Кривенко*

Институт ядерной физики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

*В. В. Разоренов*

Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

***Предложена конструкция магниевой мишени, образуемой при нейтрализации плазмы вакуумной дуги на стенке камеры.***

Пары магния используют для перезарядки пучков ионов водорода в атомы или отрицательные ионы. В работе предложен способ получения нейтрально-го пара магния за счет нейтрализации плазмы вакуумной дуги на нагретых стенках. Разработана конструкция дозвуковой магниевой мишени, которая может использоваться для перезарядки диагностических пучков небольшого диаметра. Данная конструкция позволила изучить свойства полученной струи пара и выработать технические решения для получения сверхзвуковой струи пара нейтрализацией плазмы вакуумной дуги.

Сверхзвуковые струи магния имеют преимущества при получении мощных атомарных пучков с большой апертурой, поскольку вынос вещества мишени вдоль тракта пучка мал. Кроме этого, сверхзвуковая струя магния способна

задерживать и откачивать газ, идущий вместе с пучком, создавая благоприятные вакуумные условия [1, 2]. Такая струя в [2] получена термическим испарением магния. Пар через импульсный клапан направлялся в сверхзвуковое сопло. При нарушении теплового режима на импульсном клапане конденсируется магний, клапан неплотно закрывается или не открывается. Использование вакуумной дуги позволит отказаться от термического испарения и клапана, что сделает конструкцию генератора сверхзвуковой струи надежной.

### Схема эксперимента

Конструкция мишени показана на рис. 1, а. Вакуумная дуга горит на торце стержневого катода, диаметром 7 мм. Ток дуги 300 А, длительность 10—80 мс. Водяное охлаждение катода сделано таким образом, чтобы катод можно было продвигать по мере расхода магния. Плазма вакуумной дуги нейтрализуется на стенках изогнутой ниобиевой трубки, являющейся анодом дуги.

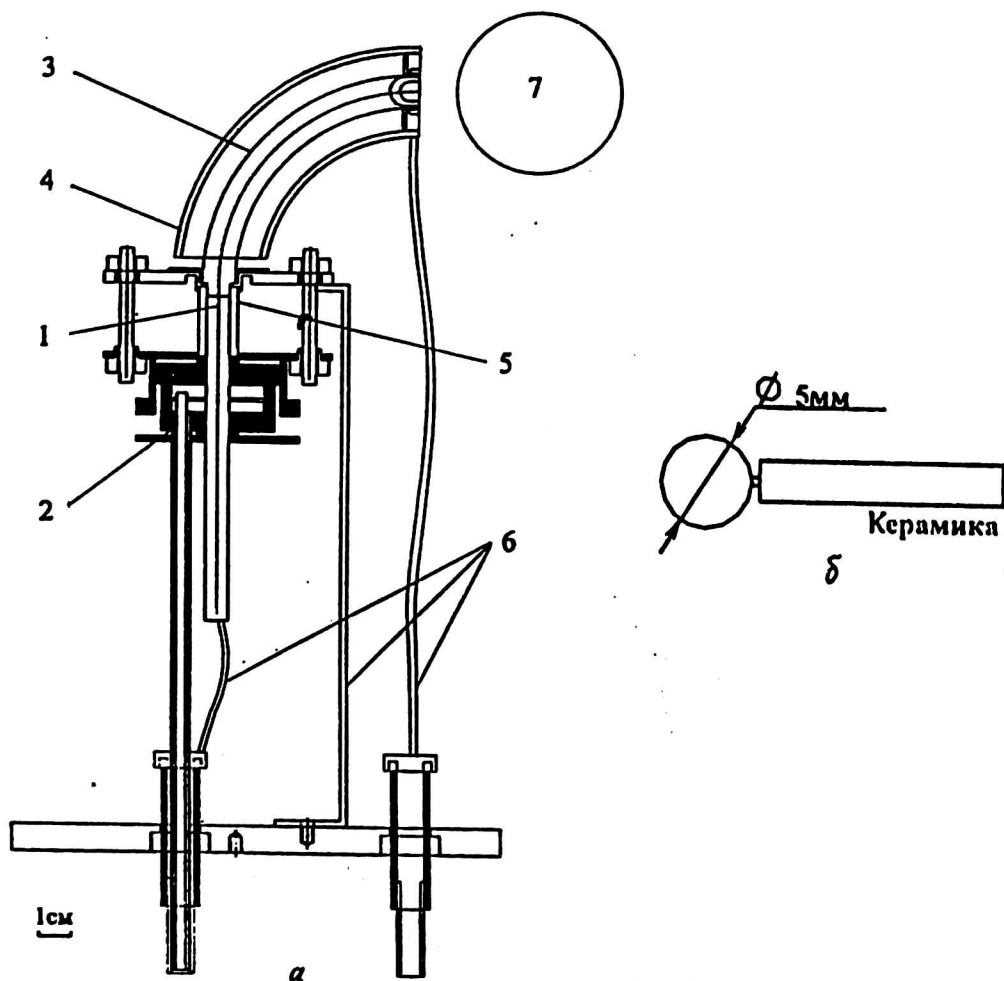


Рис. 1. Конструкция мишени (а):

1 — магниевый катод; 2 — водяное охлаждение; 3 — нагреваемая трубка; 4 — тепловой экран; 5 — изолятор; 6 — токоподводы; 7 — область пересечения перезаряжаемого пучка с мишенью; конструкция зонда (б)

Трубка имеет толщину стенки 0,1 мм и окружена тепловым экраном. Перед включением дуги трубка нагревается проходящим по ней импульсом тока 600 А, длительностью 0,1 с до температуры  $\sim 900$  °С. Поджиг дуги осуществляется пробоем по поверхности изолятора между катодом и анодом, дополнительный электрод для поджига отсутствует. Область пересечения перезаряжаемого пучка с вытекающим из трубки облачком пара также показана на рис. 1, а.

Количество и состав вещества мишени исследовались по осаждению магния на подложку. Подложкой служила стеклянная пластина  $5 \times 5$  см, помещенная в область, где планируется пересечение пучка с облачком пара, на расстоянии 3 см от выходного отверстия трубки. Размер пластины выбран так, чтобы она собирала практически весь выходящий из трубки поток. Для измерения доли плазмы в облачке на место подложки был помещен плоский зонд. Конструкция зонда показана на рис. 1, б.

### Результаты эксперимента

За 50 импульсов с током дуги 300 А и длительностью 40 мс вес осевшего на подложку магния составил 2,3 мг. Если принять расход вакуумной дугой материала катода для магния 25 мкг/к [3, 4], то дуга при этом испаряет 15 мг. Следовательно, из нагреваемой трубки выходит 15 % испаряемого дугой вещества. Большая часть испаренного магния, 85 %, возвращается на катод.

Наблюдения подложки в микроскоп показали, что значимую долю вещества мишени составляют капли. В поле зрения микроскопа диаметром 1 мм содержится 150—200 капель диаметром до 5 мкм и 20—30 капель диаметром 5—10 мкм (рис. 2). Следовательно, суммарный вес крупных капель 0,5 мг, что составляет 22 % от всего осевшего на подложку магния. При этом не учитывались капли диаметром меньше толщины осевшей пленки, 0,6 мкм.



Рис. 2. Вид подложки под микроскопом

По весу осевшего на подложку вещества за вычетом веса капель можно оценить плотность пара в облачке  $n_a = 3 \cdot 10^{13}$  см $^{-3}$ . Основная часть магния оседает на подложку в области  $\sim 3$  см с хорошо заметной границей. Таким образом, обеспечивается толщина мишени  $nl = 10^{14}$  см $^{-2}$ .

Плотность ионного тока насыщения на зонд составляет  $j = 2 \cdot 10^{-2}$  А/см $^2$ . Плотность плазмы в облачке можно оценить как  $n = \frac{j}{e V_i} = 6 \cdot 10^{10}$  см $^{-3}$ , где  $V_i = 2 \cdot 10^6$  см/с — скорость иона дуги. Такая оценка основана на предположе-

нии отсутствия ионизации в объеме облачка. Ток на зонд создают ненейтрализованные ионы, сохраняющие характерную для вакуумной дуги направленную энергию, которая много больше электронной температуры. Полученная плотность плазмы показывает, что ее доля в облачке незначительна.

Было проведено компьютерное моделирование течения пара в трубке. Расчет производился методом пробных частиц, которые в молекулярном режиме двигались по трубке, диффузно отражаясь от стенок по закону косинуса. Время пребывания частицы на стенке пренебрежимо мало. Схема расчета представлена на рис. 3. Расчет был выполнен для трубок с фиксированными сечением и кривизной, но разной длины, выраженной через угловой размер  $\alpha$ .



Рис. 3. Схема расчета

Рассчитанная зависимость времени выхода течения на стационарный режим от длины трубки показана на рис. 4. Для данной установки  $\alpha = 90^\circ$ , время выхода на стационарный режим составляет 2 мс. Доли частиц, выходящих из трубки и возвращающихся на катод показаны на рис. 5. Рассчитанная доля выходящего из трубки потока для данной установки равна 13 %, что хорошо согласуется с результатом эксперимента.

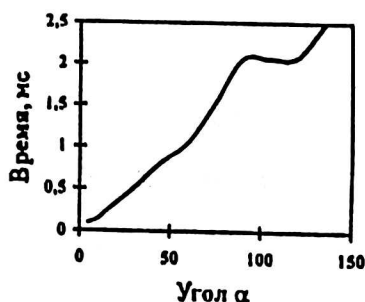


Рис. 4. Время выхода течения на стационарный режим

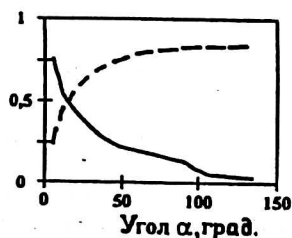


Рис. 5. Доли частиц, вылетающих из трубки и возвращающихся на катод, от числа инжекционных частиц: — — — — — вернулось на катод; — — — — — вылетело из трубки

Эксплуатация мишени показала, что конструкция водяного охлаждения требует доработки, так как часть тока дуги протекает через воду, электролиз разрушает боковую поверхность катода. При продвижении катода вперед могут возникнуть проблемы с вакуумным уплотнением воды. Достаточно сделать охлаждение без контакта воды с магнием и подвод тока к катоду отдельно от охлаждения. Импульсно нагреваемая трубка, напротив, показала себя хорошо. Это конструктивное решение является перспективным, так как значительно облегчает охлаждение катода, по сравнению с постоянно нагретой поверхностью нейтрализации.

### Заключение

В настоящей работе показана возможность преобразования плазмы вакуумной дуги в нейтральный пар. Изготовлена дозвуковая паромagneвая мишень. Исследование полученной струи показало, что толщина мише-

ни  $10^{14}$  см<sup>-2</sup>. Доля вещества в виде капель в облачке пара 22 %, доля плазмы незначительна.

Установлено, что из нагреваемой трубки выходит 15 % испаряемого дугой вещества. Компьютерное моделирование течения пара в трубке согласуется с экспериментальными данными. Геометрия нагреваемой трубки может быть оптимизирована с использованием результатов расчета для значительного увеличения толщины мишени. Другая возможность увеличения толщины мишени состоит в повышении тока дуги в несколько раз.

### Л и т е р а т у р а

1. Дьячков Б. А., Зиненко В. И. //ЖТФ, 1980. Т. 50. С. 2369.
2. Соколов В. Г., Тимошин И. Я. //Там же, 1982. Т. 52. С. 283.
3. Daalder J. E. Cathod erosion of metal vapour arcs in vacuum. The Netherlands, 1978.
4. Гилеев Е. А., Давыденко В. И. и др. //Физика плазмы. 1985. Т. 11. С. 1502.

---

Авторы выражают благодарность Ю. И. Шевченко за изготовление мишени, Е. Д. Бендеру — за помощь в конструировании, В. И. Давыденко — за интерес, проявленный к работе.

## Subsonic magnesium target, on the basis of vacuum arc

*A. S. Krivenko*

Budker Institute of nuclear physics, Novosibirsk, Russia

*V. V. Razorenov*

Novosibirsk state technical university, Novosibirsk, Russia

*The design of a magnesium target formed at neutralization of vacuum arch plasma on the chamber wall is offered.*