

**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

13-86-736

**К.Кишчак, А.Лятушински, Д.Мончка,
Ю.В.Юшкевич**

**ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫХОДНОГО КАНАЛА
ПЛАЗМЕННОГО ИОННОГО ИСТОЧНИКА**

1986

ВВЕДЕНИЕ

Принцип действия плазменных ионных источников, а также процесс ионизации и экстракции ионных пучков из плазмы газового разряда являются темой ряда публикаций, как теоретических, так и экспериментальных. Однако во многих случаях практическое применение приводимых теоретических формул для количественной оценки параметров источника /например, эффективности ионизации/ затруднено, так как некоторые параметры плазмы неизвестны, а другие трудно измерить^{1/}. Это создает определенные трудности при выборе оптимальных условий работы источников, а также при разработках новых конструкций. Поэтому такие задачи решаются, как правило, экспериментальным путем.

В настоящей работе представлены некоторые результаты исследований влияния геометрии канала эмиссии плазменного источника ионов на основные его параметры - газовую экономичность и создаваемые ионные токи. В проведенных экспериментах использовался дуговой источник ионов с полым катодом^{2,3/}. Источник такого типа применяется в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и Институте физики Люблинского университета для получения ионных пучков широкого круга элементов: Al, Ti, Mn, P, Zn, Gd, Ag, Sb и других.

КОНСТРУКЦИЯ ИСТОЧНИКА

Упрощенная схема разрядной камеры источника приведена на рис.1. Дуговой разряд зажигается между спиральным, накаливаемым постоянным током, катодом и трубчатым анодом, через отверстие которого вводится газ и пары ионизируемого вещества. В случае работы с элементами в твердом состоянии роль испарителя выполняет трубка анода, а требуемый градиент температуры получается путем подбора ее материала и толщины стенок. Детали разрядной камеры источника изготовлены из молибдена и графита, а катод - из вольфрамовой проволоки диаметром 0,5±1 мм.

Типичные условия работы источника приведены в следующей таблице:

Ток разряда, Iа	0,2-4 А
Напряжение разряда, Uа	25-100 В
Плотность ионного тока в выходном отверстии	25-45 мА/см ²
Температура разрядной камеры, Т	1500-2000 К.

При этих условиях были получены некоторые основные характеристики источника, приведенные на рис.2.

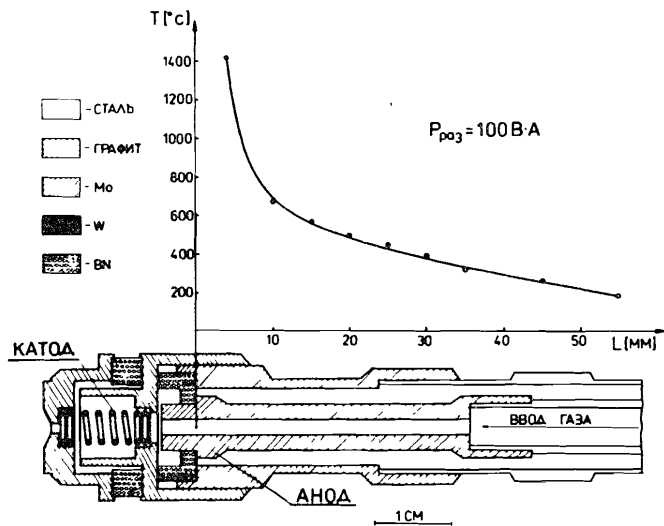


Рис. 1. Конструкция разрядной камеры и распределение температуры вдоль анода источника.

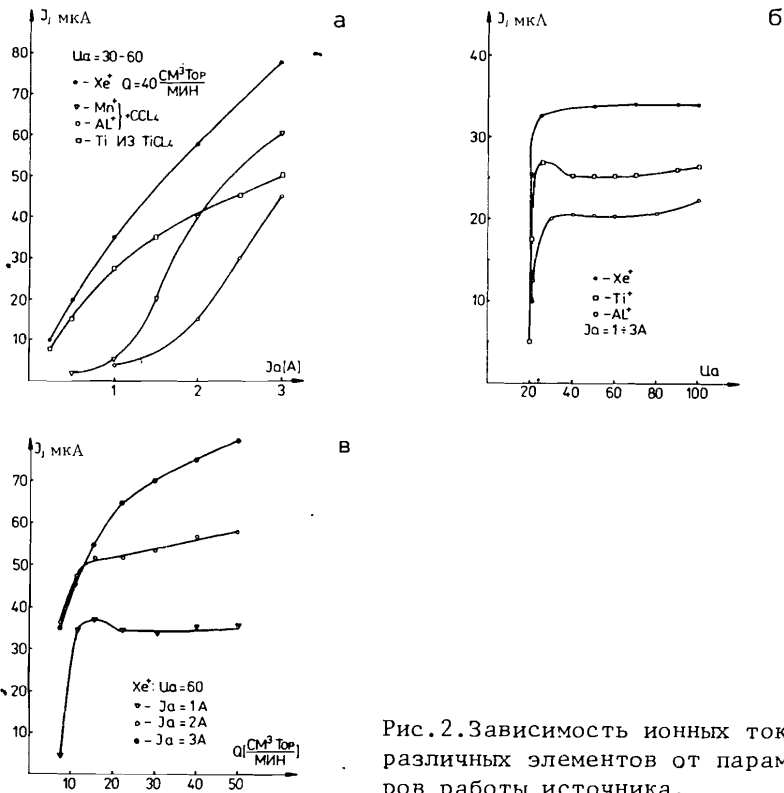


Рис. 2. Зависимость ионных токов различных элементов от параметров работы источника.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

В проведенных опытах исследовалось влияние длины выходного канала источника на эмитируемые ионные токи J_j и эффективность использования рабочего вещества η . Сечение и длина выходного канала разрядной камеры в основном влияют на два фактора: во-первых, в значительной степени определяют размер и форму поверхности плазмы /т.е. мениска плазмы/, во-вторых, на скорость вытекания газа из объема разрядной камеры. Очевидно, что от этих факторов также зависят создаваемые источником ионные токи и эффективность использования рабочего вещества.

Выходная крышка разрядной камеры сделана из графита, что позволяет менять длину канала эмиссии путем механической обработки без демонтажа источника. Снимался слой графита с сохранением диаметра выходного отверстия и угла раскрытия конуса внешней стороны крышки. Толщина снимаемого слоя определялась с точностью до 0,025 мм.

С изменением геометрии канала меняется его проводимость для протекающей струи газа. Скорость протекания газа J_0 через цилиндрический канал эмиссии, как известно, дана соотношением

$$J_0 = 6,48 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{\frac{T}{M}} \cdot \frac{8R^3}{8R+3L} (P_1 - P_0), \left[\frac{\text{см}^3 \cdot \text{Тор}}{\text{МИН}} \right], \quad /1/$$

где T - температура /К/; M - молекулярная масса газа /г/моль/; R, L - радиус и длина канала /см/; P_1, P_0 - давление на входе и выходе канала /Тор/.

На рис. 3 и 4 показана зависимость ионных токов и эффективности ионизации η от давления газа P в разрядной камере источника

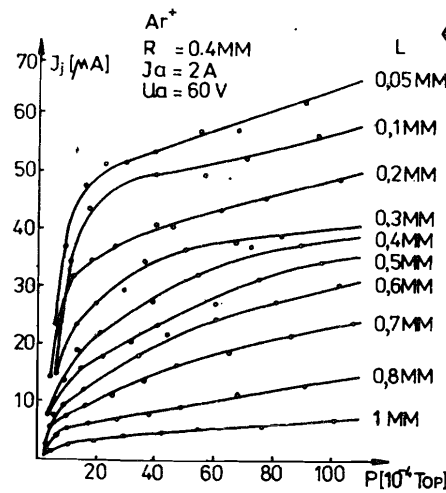
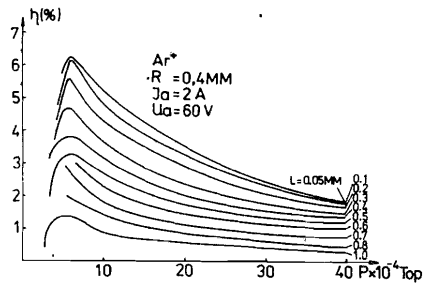


Рис. 3. Ионный ток аргона в зависимости от давления в разрядной камере.

Рис. 4. Эффективность ионизации аргона в зависимости от давления в разрядной камере.



для различных длин канала эмиссии. Во время измерений режим работы источника был постоянным. Эффективность работы источника определялась как отношение измеряемого на коллекторе масс-оператора ионного тока J_j к скорости подачи газа $\theta = J_0$ в камеру источника:

$$\eta = 1,02 \frac{J_j}{J_0} [\%],$$

где J_j [мкА]; $J_0 \left[\frac{\text{см}^3 \cdot \text{Тор}}{\text{мин}} \right]$.

Скорость подачи газа измерялась специальной системой с точностью $\pm 5\%$. Давление в камере источника определяли по формуле /1/, принимая $T = 2000 \text{ K}$, $P_0 \approx 0$. Наблюдается рост ионного тока J_j и эффективности ионизации η при уменьшении длины канала. За параметр, более полно характеризующий геометрию канала, можно принять отношение его радиуса к длине $\frac{R}{L}$.

На рис.5 представлены зависимости $\eta = f\left(\frac{R}{L}\right)$, полученные из результатов рис.4. Такие же зависимости для различных режимов работы источника показаны на рис.6.

Во всех случаях при увеличении отношения $\frac{R}{L}$ наблюдается рост эффективности с тенденцией выхода на плато для $\frac{R}{L} > 2$. Такой вид зависимости сохраняется для разных токов разряда и радиусов выходного отверстия.

При постоянных параметрах плазмы и напряжении экстракции для каждой полученной кривой наблюдаемый эффект может считаться ре-

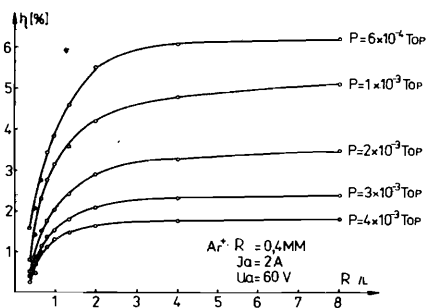


Рис.5. Зависимость эффективности ионизации от геометрии выходного канала для различных давлений.

○ - Ar⁺ R = 0,4 MM, Ja = 2 A
 ● - Ar⁺ R = 0,4 MM, Ja = 1 A
 ▼ - Xe⁺ R = 0,4 MM, Ja = 1 A
 ▽ - Xe⁺ R = 0,25 MM, Ja = 2 A
 Ua = 60 B

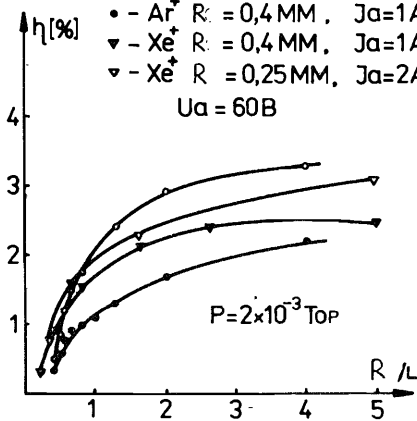


Рис.6. Зависимость эффективности ионизации от геометрии выходного канала при постоянном давлении.

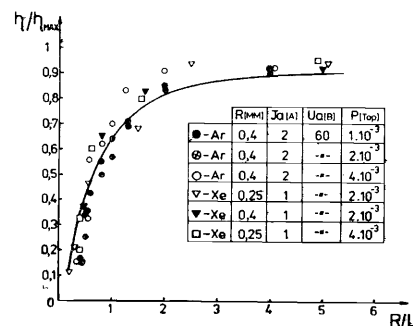


Рис.7. Экспериментальные и расчетные значения эффективности ионизации в зависимости от геометрии выходного канала.

зультатом совместного действия двух основных факторов: а/ роста эмитирующей поверхности плазмы, связанного с изменением формы мениска; б/ уменьшения потерь ионного пучка на нейтрализацию на стенках канала эмиссии по мере его сокращения. Определение отдельного влияния этих двух факторов не проводилось, так как это требует более сложных и подробных исследований. Полученные результаты дают возможность оценки суммарного эффекта.

Наблюдаемый ход кривых $\eta = f\left(\frac{R}{L}\right)$ /рис.5 и б/ можно связать с геометрией канала, принимая несколько допущений:

а/ эмитирующая поверхность плазмы находится внутри канала эмиссии и имеет вид сферы с радиусом, близким радиусу канала; б/ с поверхности плазмы эмитируется ионный поток, часть которого, попадая в телесный угол, определяемый размером канала, регистрируется как ионный ток J_j .

Проведя геометрические расчеты с принятыми допущениями, можно вывести эмпирическую формулу

$$\eta = \eta_{\text{max}} \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{2,5R}{L}\right)^2 + 1}}\right), \quad /2/$$

где η_{max} - максимальное значение эффективности ионизации; R, L - радиус и длина канала.

На рис.7 показаны относительные значения эффективности, экспериментально полученные для разных условий работы источника, и теоретическая кривая, рассчитанная по формуле /2/. Наблюдается соответствие расчета и эксперимента.

Представленные результаты показывают существенное влияние геометрии канала эмиссии на эмитируемые источником ионные токи и эффективность использования рабочего вещества. Для значений $\frac{R}{L} > 2$ величины J_j и η зависят лишь от эмиссионных свойств плазмы, обусловленных параметрами разряда.

Приведенная формула /2/ может быть применена при разработке конструкции указанного типа ионного источника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лятушински А., Мончка Д., Юшкевич Ю.В. Препринт ОИЯИ 13-83-288, Дубна, 1983.
2. Sidenius G. - In: Proc.Int.Conf., Marburg, 1970.
3. Sidenius G. - In: Proc.Int.Conf., Saclay, 1969.
4. Габович М.Д. Плазменные источники ионов. Киев: Наукова думка, 1964.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 ноября 1986 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,
если они не были заказаны ранее.

Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
Д11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
Д4-85-851.	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна 1985.	4 р. 80 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Кишчак К. и др.

13-86-736

Оптимизация выходного канала плазменного ионного источника

Описаны конструкция и принцип действия дугового источника ионов с полым катодом. С его помощью исследовалось влияние длины выходного канала на эмитируемые ионные токи и эффективность ионизации. Выведена эмпирическая формула для расчета эффективности ионизации источника, а также приведены некоторые его характеристики.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Kiszczak K. et al.

13-86-736

Optimization of Outlet Channel of Plasma Ion Source

Construction and operation principle of arc hollow-cathode ion source are presented. The effect of source outlet length on emitted ion current and ionization efficiency have been investigated by means of this source. Empirical formula for calculating the source ionization efficiency has been derived, and some its characteristics are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986