

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ МУЛЬТИКАСПОВЫЙ ИСТОЧНИК ИОНОВ

В.И. Возный, В.И. Мирошниченко, С.Н. Мордик, В.Е. Сторижко, Д.П. Шульга

Институт прикладной физики НАН Украины, ул. Петропавловская, 58, г. Сумы, 40030

E-mail: vozny@ipflab.sumy.ua

Разработан высокочастотный мультикасповый ионный источник диаметром 4,7 см и длиной 8 см для генерации ионных пучков с малым энергетическим разбросом. В статье представлена конструкция источника и приведены результаты измерения извлекаемого ионного тока. Плотность ионного тока аргонового пучка равна 55 мА/см² при 213 Вт ВЧ-мощности.

ВВЕДЕНИЕ

Высокочастотные (ВЧ) ионные источники широко используются в различных ионно-пучковых технологиях, ионной имплантации, ускорительной технике и др. ВЧ источник обладает рядом преимуществ по сравнению с другими типами ионных источников: отсутствие накаливаемого катода, чистота образуемой плазмы, значительный срок службы, простота конструкции. Одним из существенных недостатков ВЧ источников является высокий энергетический разброс извлекаемого ионного пучка, равный нескольким десяткам эВ. Во многих случаях, однако, требуется получение ионных пучков с низким энергетическим разбросом. Например, в микролитографии применение ионного источника с малым энергетическим разбросом приводит к уменьшению хроматических аберраций ионной оптической системы.

В последние годы большой интерес вызвала разработка ВЧ мультикасповых источников ионов (ВЧМКИИ) [1-3], у которых индуктивная ВЧ антенна помещается внутри металлической камеры, окруженной магнитной системой с мультикасповой конфигурацией магнитного поля. Рабочая частота данных известных источников равна 13,56 МГц и является частотой ВЧ диапазона, разрешенной для использования в промышленных установках.

В Институте прикладной физики НАН Украины сконструирован ВЧМКИИ диаметром 4,7 см и длиной 8 см, работающий на другой разрешенной частоте-27,12 МГц. Ионный источник предназначен для работы в электростатическом ускорителе аналитического комплекса в качестве источника ионов легких газов. Повышение рабочей частоты источника обусловлено тем фактом, что при теоретическом рассмотрении условий, влияющих на энергетический разброс ионов ВЧ источников установлено, что энергетический разброс ионов обратно пропорционален частоте ВЧ источника [4].

В данной работе представлены конструкция источника, его основные параметры и приведены результаты измерения тока извлекаемого ионного пучка.

1. ВЧ МУЛЬТИКАСПОВЫЙ ИСТОЧНИК ИОНОВ

Схематическое изображение конструкции ВЧМКИИ показано на рис.1. Внешний вид источника и ВЧ-антенны представлены на рис.2, а и б, соответственно. Источник состоит из цилиндрической дюралюминиевой разрядной камеры с внутренним диаметром 47 мм и длиной 80 мм. Внешняя поверхность камеры окружена рядом постоянных магнитов Nd-Fe-B, которые установлены с чередующейся полярностью, создавая мультикасповую конфигурацию магнитного поля. Количество магнитов в

ряду - 18, их размеры - 6x10x30 мм. Магнитное поле достигает максимального значения около 300 мТл возле стенки разрядной камеры и спадает экспоненциально к центру.

Центральная область источника, в которой расположена ВЧ антенна, свободна от магнитного поля и имеет диаметр 25 мм. Антенна выполнена из гибкого многожильного витого медного провода, пропущенного внутри стеклянной «Duran» трубки (рис.2, б). Стеклянная трубка с наружным диаметром 6 мм согнута в форме спирали с тремя витками и с внешним диаметром 20 мм. Антенна охлаждается дистиллированной водой, протекающей внутри стеклянной трубки.

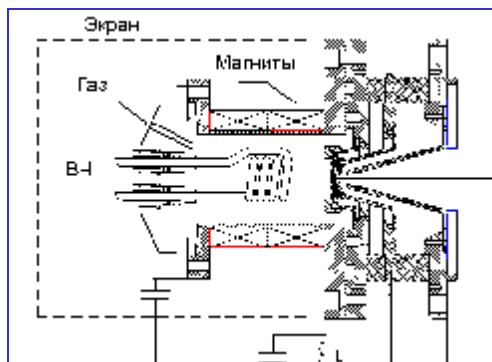


Рисунок 1 – Схема конструкции ВЧМКИИ

ВЧ мощность подводится к антенне от задающего генератора частотой 27,12 МГц и усилителя «АСОМ-1000» с выходной мощностью до 800 Вт [5]. Между усилителем и ВЧ антенной источника расположена схема согласования, являющаяся настраиваемым резонансным L-контуром и состоящая из нагрузочного и резонансного конденсаторов. Схема согласования позволяет согласовывать выходное сопротивление усилителя 50 Ом с малым (1-4 Ом) активным сопротивлением антенны.



а



б

Рисунок 2 – Внешний вид ВЧМКИИ (а) и ВЧ антенны (б)

Обратный фланец мультикасового источника изготовлен из нержавеющей стали и содержит вакуумный ввод ВЧ антенны и подвод рабочего газа. Стеклянное окно служит для наблюдения за плазменным разрядом. Вытягивающий электрод (катод) изготовлен из молибдена и имеет канал экстракции диаметром 0,6 мм и длиной 3 мм.

Плазменный ВЧ разряд генерируется индукционной антенной, расположенной внутри металлической разрядной камеры источника. ВЧ токи, текущие в антенне, образуют переменное магнитное поле, которое в свою очередь индуцирует азимутальное вихревое электрическое поле. Электроны, присутствующие в объеме газа, ускоряются индуцированным электрическим полем и приобретают достаточную кинетическую энергию для ионизации нейтральных частиц газа и генерирования высокоплотной плазмы, из которой извлекается ионный пучок.

ВЧ мощность вводится в плазму посредством омической диссипации индукционных токов, текущих в плазме. Плотность плазмы источника определяется балансом между процессами образования частиц и их потерями в разрядной камере. Быстрые электроны, необходимые для ионизации газа, более легко теряются на стенках камеры, чем медленные ионы. Поэтому необходимы определенные способы возврата быстрых электронов в плазменный разряд. Применение мультикасповой конфигурации магнитного поля позволяет удерживать быстрые электроны в плазменном объеме.

Чередующийся ряд постоянных магнитов образует мультикасповую конфигурацию магнитного поля, у которой модуль магнитной индукции максимален у стенки разрядной камеры и быстро падает к центральной оси источника. Для мультикасповой конфигурации с переменной полярностью модуль магнитной индукции $|B|$ зависит от радиуса r следующим образом [6]: $|B| \approx (2B_0 \Delta / d) \cdot \exp(-\pi r / d)$, где Δ – ширина магнита; d – расстояние между магнитами; B_0 – магнитная индукция на поверхности магнита. Магнитное поле падает экспоненциально по радиусу по направлению к центру разрядной камеры с характерной величиной d/π . На рис.3, а показаны силовые линии магнитного поля \vec{B} в поперечном сечении разрядной камеры ВЧМКИИ.

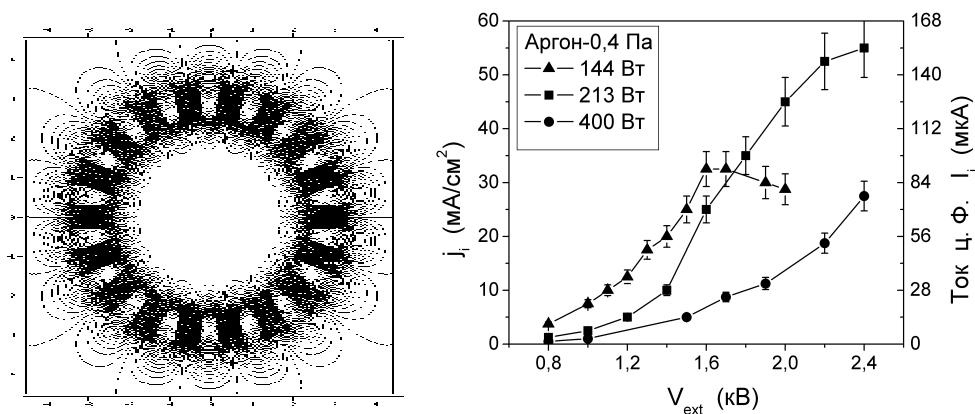


Рисунок 3 - Линии магнитного поля \vec{B} в поперечном сечении источника (а) и плотность тока ионов аргона в зависимости от вытягивающего напряжения при различной ВЧ мощности (б)

Таким образом, большая часть плазменного объема находится в области, свободной от магнитного поля. Сильное магнитное поле, существующее у стенок разрядной камеры, изолирует плазму от поверхности металлической камеры и уменьшает плазменные потери, что приводит к увеличению плотности плазмы, степени ее ионизации и однородности.

2. ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ИОННОГО ТОКА

Полный ток пучка I_i ионов аргона, извлекаемого из МКИ, измерялся с помощью цилиндра Фарадея, установленного на расстоянии 100 мм от выходного отверстия источника. Плотность ионного тока j_i определялась как ионный ток I_i , прошедший через площадь отверстия вытягивающего электрода $j_i = I_i / (\pi d^2 / 4)$, где $d = 0,6$ мм. Зависимость плотности тока пучка ионов аргона от вытягивающего напряжения V_{ext} при различной ВЧ мощности $P = 144, 213$ и 400 Вт представлена на рис.3, б. Давление p нейтрального аргона в разрядной камере источника равно $0,4$ Па. Справа на графике показан ионный ток I_i , идущий на цилиндр Фарадея. При изменении вытягивающего напряжения от $0,8$ кВ до $2,5$ кВ заметно насыщение ионного тока при средних значениях ВЧ мощности $144-213$ Вт. При $P = 213$ Вт максимальное значение плотности тока ионов аргона равно $j_i = 55$ мА/см² ($V_{ext} = 2,4$ кВ, давление аргона равно $0,4$ Па).

ВЫВОДЫ

Разработан ВЧ мультикасповый ионный источник диаметром $4,7$ см и длиной 8 см. Источник ионов предназначен для получения ионных пучков с малым энергетическим разбросом. Для работы источника используется повышенная частота $27,12$ МГц, поскольку из теоретического рассмотрения условий, влияющих на энергетический разброс ионов установлено, что энергетический разброс обратно пропорционален рабочей частоте ВЧ источника.

Измерена плотность тока аргонового пучка при изменении вытягивающего напряжения в пределах $V_{ext} = 0,5-2,5$ кВ, давления газа в разрядной камере $p = 0,7-11$ Па и ВЧ мощности в диапазоне $P = 50-300$ Вт. При $P = 213$ Вт максимальное значение плотности тока ионов аргона равно $j_i = 55$ мА/см² ($V_{ext} = 2,4$ кВ, давление аргона $p = 0,4$ Па).

SUMMARY

RADIO-FREQUENCY MULTICUSP ION SOURCE

V.I. Voznyy, V.I. Miroshnichenko, S.N. Mordyk, V.E. Storizhko, D.P. Shulha
Institute of Applied Physics, National Academy of Sciences of Ukraine,
Petropavlovska 58, 40030, Sumy, Ukraine
E-mail: vozny@ipflab.sumy.ua

A radio-frequency multicusp ion source in diameter of 4.7 cm and length 8 cm is developed for generation of ion beams with small energy spread. The source design and ion current measurements are presented in the article. The current density of argon ion beam is equal to 55 mA/cm² at 213 W of RF power.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lee Y., Gough R.A., Kunkel W.B, Leung K.N. et al. Ion energy spread and current measurements of the rf-driven multicusp ion source // Rev. Sci. Instrum.-1997.-V.68, №3.-P.1398-1402.
2. Boonyawan D., Chirapatpimol N., Sanguansak N. and Vilaithong T. A 13.56 MHz multicusp ion source for high intensity Ar beam // Rev. Sci. Instrum.-2000.-V.71, №2.-P.1181-1183.
3. Boonyawan D., Chirapatpimol N. and Vilaithong T. Characteristics of a 13.56 MHz radiofrequency-driven multicusp ion source // Plasma Sources Sci. Technol.-2002.-V.11.-P.389-396.
4. Benoit-Cattin P. and Bernard L.C. Anomalies of the energy of positive ions extracted from high-frequency ion sources. A theoretical study // J. Appl. Phys.-1968.-V.39.-P.5723-5726.
5. Возный В.И., Мирошниченко В.И., Мордик С.Н., Сторишко В.Е., Сулкио-Клефф Б., Шульга Д.П. Экспериментальная установка для тестирования ВЧ источников ионов // Problems of Atomic Sciences and Technology. Ser.:Plasma Electronics and New Acceleration Methods.-2003.-№4(3).-С.284-287.

6. Lieberman M.A. and Lichtenberg A.J. Principles of Plasma Discharges and Materials Processing.-New York: Wiley, 1994.-572 p.

Возный В. И., кандидат физ.-мат. наук,
старший научный сотрудник;

Мирошниченко В.И., доктор физ.-мат. наук,
член- корреспондент НАН Украины;

Мордик С. Н., кандидат физ.-мат. наук,
старший научный сот рудник;

Сторижко В. Е., доктор физ.-мат. наук,
академик НАН Украины;

Шульга Д. П., младший научный сотрудник

Поступила в редакцию 5 мая 2008 г.