

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК 2,45-ГГц ЭЦР-ИСТОЧНИКА ИОНОВ

*К. Берестов<sup>1</sup>, С. Богомолов, К. Кузьменков*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова разработан ЭЦР-источник ионов на основе четвертьволнового коаксиального резонатора для получения пучков однозарядных ионов. Описаны результаты исследования характеристик источника с различной конфигурацией ввода СВЧ-мощности. Проведены измерения тока извлекаемых ионов в зависимости от мощности СВЧ, частоты и потока напускаемого в камеру газа. Определена оптимальная конфигурация ввода СВЧ.

The Flerov Laboratory of Nuclear Reactions of JINR has developed an ECR ion source based on a quarter-wave coaxial resonator for producing singly charged ion beams. The paper describes the results of a study of the characteristics of a source with a different configuration of microwave power input. The current of the extracted ions was measured depending on the microwave power, frequency and flow of the gas injected into the chamber. The optimal configuration of the microwave input has been determined.

PACS: 29.25.Ni; 52.35.Hr; 29.20.dg

### ВВЕДЕНИЕ

ЭЦР-источники ионов с рабочей частотой 2,45 ГГц широко используются для получения пучков однозарядных и вторичных радиоактивных ионов.

В Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова разработан компактный ЭЦР-источник на основе четвертьволнового коаксиального резонатора [1]. Магнитная система источника состоит из радиально намагниченного кольца, изготовленного из постоянных магнитов (NdFeB) (рис. 1). Данная магнитная система обеспечивает создание псевдозамкнутых поверхностей с уровнем поля от  $B_{рез}$  (875 Гс) до  $2B_{рез}$  (1750 Гс), что соответствует частоте 2,45 ГГц [2]. Псевдозамкнутые контуры магнитного поля расположены в зазоре емкости для достижения оптимальных условий удержания плазмы. Для ввода СВЧ-мощности использован соединитель N-типа (внутренний диаметр — 16 мм, диаметр центрального проводника — 7 мм) с фланцем KF16. Конструкция источника схематично представлена на рис. 2.

В работе [3] показано, что время трансформации атомов в ионы уменьшается с уменьшением объема камеры. С целью дальнейшего уменьшения объема плазменной камеры источника разработана конструкция с вводом СВЧ-мощности на основе соединителя SMA-типа. Проведены исследования характеристик источника с различной конфигурацией ввода СВЧ-мощности.

---

<sup>1</sup>E-mail: kib5@jinr.ru

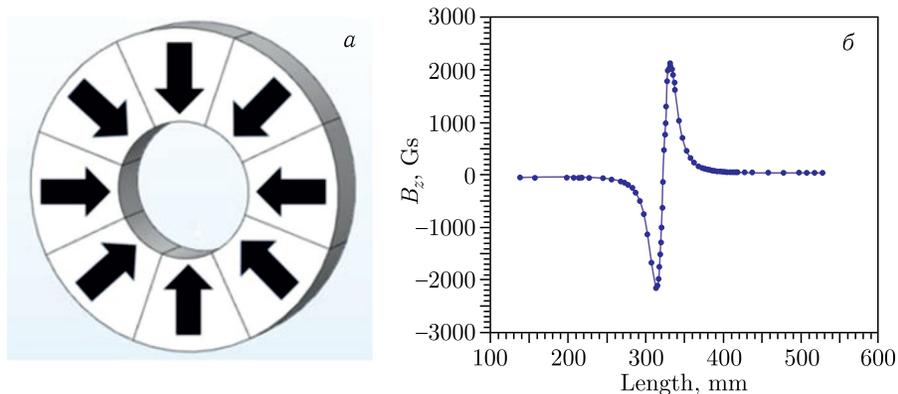


Рис. 1. Магнитная система источника: а) магнитное кольцо (NdFeB); б) аксиальное распределение магнитного поля кольцевого магнита

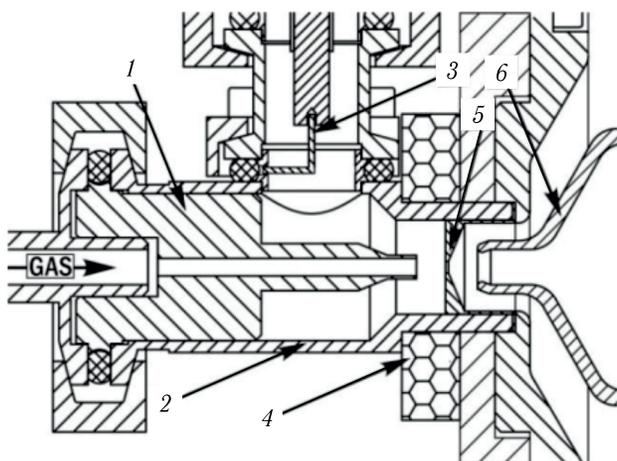


Рис. 2. Схема ЭЦР-источника: 1 — сменная внутренняя часть резонатора; 2 — корпус резонатора; 3 — петля связи; 4 — постоянный магнит; 5 — сменный плазменный электрод; 6 — вытягивающий электрод

## 1. КОНСТРУКЦИЯ ИСТОЧНИКА

На рис. 3 схематично изображен резонатор источника с различными вводами мощности.

На рис. 4 и 5 представлены источник и сменные узлы резонатора с вводом СВЧ-мощности соответственно.

Изменение конфигурации ввода мощности и длины петли связи ( $L$ ) осуществляется при помощи сменных частей резонатора. В экспериментах использовались следующие конфигурации ввода СВЧ-мощности: ввод № 1 (петля длиной  $L_1 = 13$ ,  $L_2 = 15$ ,  $L_3 = 19$  мм); ввод № 2 (петля длиной  $L_1 = 18$ ,  $L_2 = 14$  мм); ввод № 3 (петля длиной  $L_1 = 18$  мм).

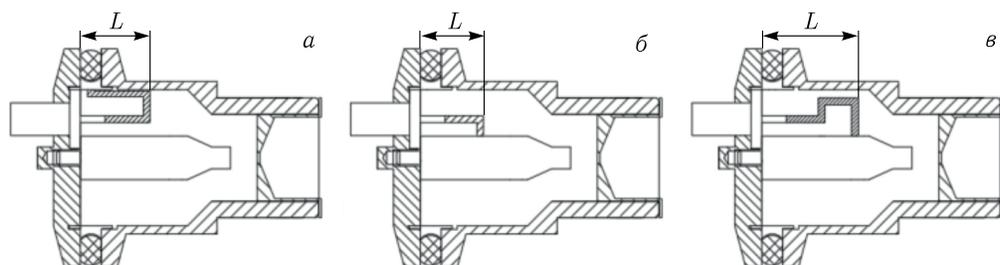


Рис. 3. Резонатор источника с различными вводами СВЧ-мощности: а) конфигурация № 1; б) конфигурация № 2; в) конфигурация № 3

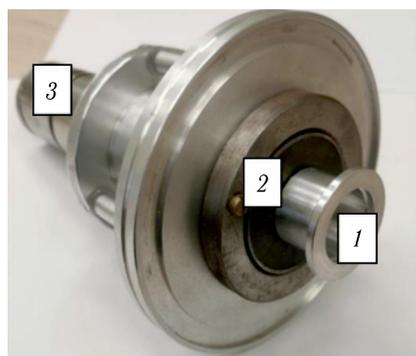


Рис. 4. Источник ионов: 1 — корпус резонатора; 2 — магнитное кольцо; 3 — вытягивающий электрод



Рис. 5. Сменные части резонатора (ввод мощности)

Для всех конфигураций ввода мощности исследовались зависимости извлекаемого тока ионов от мощности и частоты СВЧ-генератора и потока газа в источник. В ходе экспериментов давление в камере составляло  $\sim 10^{-5}$ – $10^{-6}$  Торр, частота изменялась в диапазоне от 2400–2500 МГц, СВЧ-мощность изменялась от 0–30 Вт, напряжение на вытягивающем электроде было –300 В, в качестве рабочего газа использовался He.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате экспериментов было установлено, что максимальный ток ионов достигается при использовании конфигурации ввода СВЧ-мощности № 2 с длиной петли связи  $L = 18$  мм. Результаты измерений извлекаемого тока ионов для трех конфигураций ввода мощности представлены в таблице. На рис. 6 проведено сравнение зависимости тока извлекаемых ионов от мощности для трех конфигураций ввода мощности с оптимальной длиной петли.

**Результаты измерений извлекаемого тока ионов**

Параметр	Конфигурация ввода мощности					
	№ 1			№ 2		№ 3
$L$ (длина петли), мм	13	15	19	18	14	18
$I_{\max}$ (ток ионов), мкА	151	159,2	126	245	143	133

Дальнейшие исследования проводились с использованием конфигурации ввода мощности № 2 с оптимальной длиной петли связи  $L = 18$  мм.

Результаты исследования зависимости тока извлекаемых ионов от давления в камере (потока газа в источник) при различных уровнях мощности представлены на рис. 7. Максимальное значение тока ионов (228 мкА) достигается при мощности 30 Вт и давлении  $\sim 3 \cdot 10^{-5}$  Торр.

На рис. 8 представлены зависимости тока ионов от частоты, полученные с использованием ввода СВЧ-мощности на основе соединителя N-типа (рис. 8, а) и на основе соединителя SMA-типа (рис. 8, б).

Видно, что при использовании ввода мощности с соединителем SMA-типа и, соответственно, при меньшем объеме плазменной камеры ток ионов, получаемый при

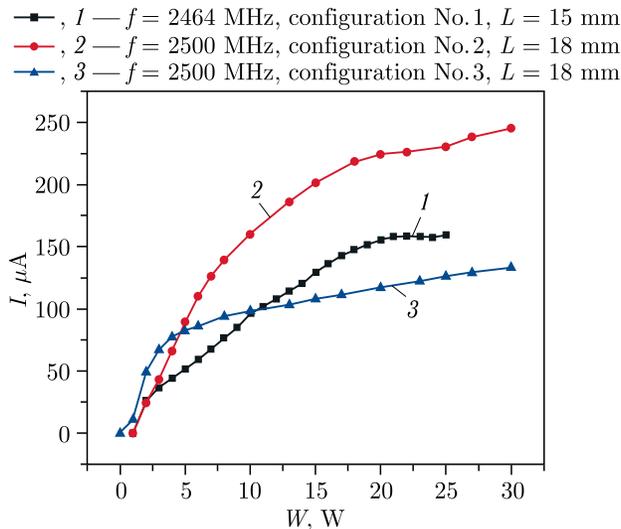


Рис. 6 (цветной в электронной версии). Зависимость извлекаемого тока ионов от мощности СВЧ для различных вводов мощности

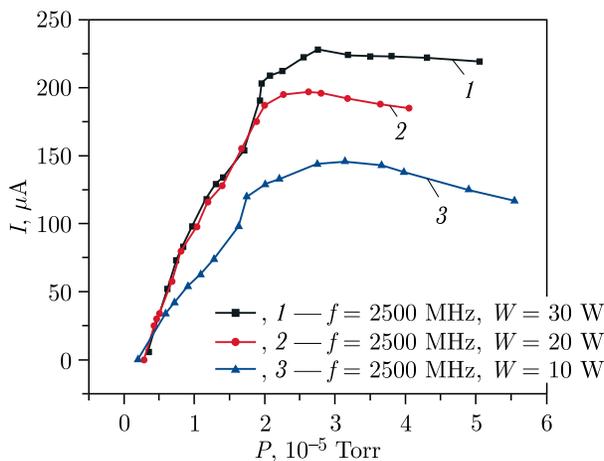


Рис. 7 (цветной в электронной версии). Зависимость извлекаемого тока ионов от давления в камере (потока газа в источник)

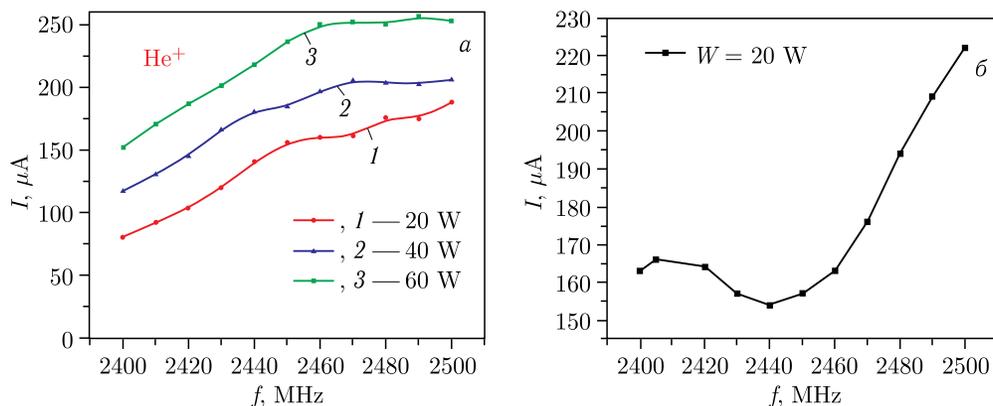


Рис. 8 (цветной в электронной версии). Зависимость тока ионов от частоты генератора: а) ввод мощности с соединителем N-типа (175 мкА); б) ввод мощности с соединителем SMA-типа (228 мкА)

мощности 20 Вт, практически сравним с током, получаемым при использовании соединителя N-типа при мощности 60 Вт.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены испытания компактного ЭЦР-источника с вводом мощности на основе соединителя SMA-типа. Определена оптимальная конфигурация ввода СВЧ-мощности. Показано, что максимального тока ионов (245 мкА) удастся достичь при мощности СВЧ 30 Вт, частоте 2500 МГц, используя конфигурацию ввода мощности № 2 с 18-мм петель связи.

Показано, что для всех конфигураций ввода СВЧ-мощности наблюдается рост тока ионов с увеличением частоты, поэтому необходимо продолжить исследования с использованием более широкодиапазонного генератора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bogomolov S. L. et al.* Development of Compact 2.45 GHz ECR Ion Source for Generation of Singly Charged Ions // J. Instrum. 2019. V. 14. P. C01009.
2. *Fatkullin R., Bogomolov S., Kuzmenkov K., Efremov A.* Compact 2.45 GHz ECR Ion Source for Generation of Singly Charged Ions // Eur. Phys. J. Web Conf. 2018. V. 177. P. 08003.
3. *Jardin P. et al.* Optimization of ECR Singly Charged Ion Sources for the Radioactive Ion Beam Production // Nucl. Instr. Meth. B. 2003. V. 204. P. 377–381.

Получено 14 ноября 2022 г.