

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

E 924

P9-88-895

А.А.Ефремов, В.Б.Кутнер

ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТА ИСТОЧНИКА ИОНОВ
С СВЧ-НАГРЕВОМ ЭЛЕКТРОНОВ
НА ЧАСТОТЕ 2,45 ГГц

Направлено в Оргкомитет XIX Международной
конференции по явлениям в ионизированных газах,
Югославия, 10-14 июля 1989 г.

1988

В последнее время отмечается значительный прогресс в развитии источников ионов с нагревом электронов на частотах в области электронно-циклотронного резонанса (ЭЦР)¹¹.

Источники ионов этого типа созданы в 9 научных лабораториях мира. Более 30 ЭЦР источников разработаны для ускорителей заряженных частиц, задач атомной физики, индустрии, а также исследований собственно ЭЦР-разряда.

Исследования и усовершенствования ЭЦР-источников ионов привели к повышению интенсивности и зарядности извлекаемых пучков ионов, уменьшению габаритов, снижению энергопотребления установок.

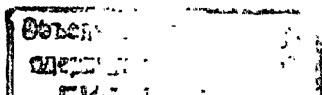
В настоящее время для ЭЦР-источников ионов используются СВЧ-генераторы в диапазоне от 2,45 до 18 ГГц.

Особый интерес представляют разработки компактных ЭЦР-источников ионов на частоте 2,45 ГГц с целью получения многозарядных ионов. Такие исследования проводятся в ФРГ¹¹, Японии¹², Франции¹³ и ПНР¹⁴. Например, в работе¹² в спектре извлекаемого тока присутствуют ионы до Ar^{5+} .

Учитывая перспективы подобных разработок, в ЛЯР ОИЯИ были начаты исследования макета ионного источника ЭЦР-2,45 ГГц с целью изучения возможности получения пучков многозарядных ионов легких элементов с отношением массы к заряду в диапазоне $A/Z = 2-5$ для изохронного циклотрона У-200 с системой внешней инжекции¹⁵.

КОНСТРУКЦИЯ, СИСТЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ МАКЕТА ИСТОЧНИКА ИОНОВ

Схема макета ионного источника показана на рис.1. Макет представляет собой одномодовый, не вакуумный, резонатор, настроенный на волну TE_{111} . Диаметр резонатора 14 см, длина около 7,5 см. Зеркальное магнитное поле создается соленоидальными катушками, расположенными на расстоянии 16 см друг от друга. Распределение магнитного поля на оси установки показано на рис.2. СВЧ-волна подается в резонатор с помощью штыревой антенны, расположенной в средней плоскости резонатора. Вакуумная камера представляет из себя кварцевую колбу с диаметром в средней части 70 мм. Рабочий газ подается через отверстие в центральной части торцевой стенки резонатора; с противоположной стороны расположена система экстракции ионов. Подача СВЧ-мощности осуществляется от магнетронного генератора на частоте 2,45 ГГц с плавной регулировкой от 0 до 600 Вт. Вакуумная откачка объема происходит с по-



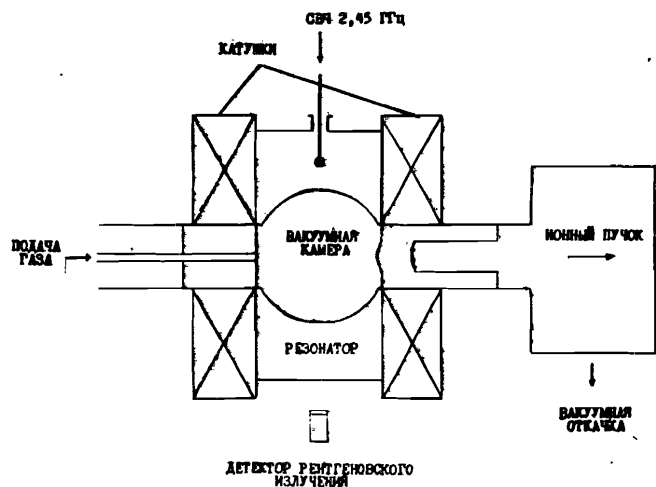


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

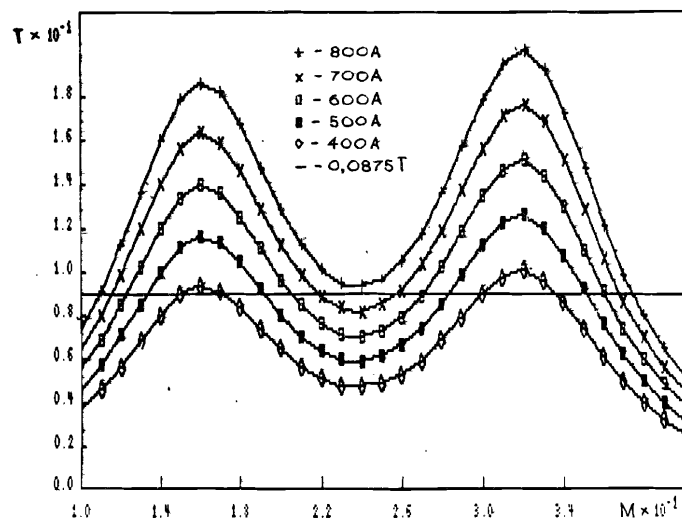


Рис. 2. Распределение магнитной индукции на оси экспериментальной установки при различных токах в катушках.

мощью турбомолекулярного насоса (500 л/с) через экстракционное отверстие. Резонатор вместе с системой подачи газа и СВЧ-генератором находится под потенциалом, равным потенциалу экстракции ионного пучка (до 20 кВ). Для регистрации рентгеновского излучения рядом с резонатором помещен детектор рентгеновского излучения.

Плотность плазмы в источнике, как известно, ограничена величиной критической плотности n_c , определяемой из условия $\omega = \omega_p$, где ω — частота внешней волны и ω_p — электронная плазменная частота. В нашем случае $n_c \approx 7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$. Таким образом, основной задачей проведенных исследований было выяснение возможности получения ионов легких элементов в вышеуказанном диапазоне A/Z при сравнительно низкой частоте накачки (и, соответственно, низкой плотности плазмы).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперименты проводились в диапазоне давлений $2 \cdot 10^{-6} \div 5 \cdot 10^{-5}$ Торр при изменении магнитного поля в центре вакуумной камеры от 0,04 до 0,1 Тл (ток в катушках от 300 до 800 А). Наличие резонансного нагрева электронов регистрировалось по появлению сигнала на рентгеновском детекторе. Резонанс был получен при давлении $4-6 \cdot 10^{-6}$ Торр при токе в катушках 480 А. При давлениях как выше, так и ниже указанного диапазона резонанс не наблюдался. Как видно из рис. 2, при данном токе в катушках значение величины магнитного поля ни в одной точке рабочего объема не достигает $B_{ЭЦР} = 0,0875$ Тл. Исходя из этого можно предположить, что нагрев электронов в данном случае происходит в области верхнегибридного резонанса. Следует отметить, что состояние резонанса было неустойчивым и не удавалось поддерживать его длительное время из-за отсутствия элемента подстройки резонатора и элемента подстройки связи резонатора с волновым трактом. Спектр ионов азота в области резонанса при давлении $5 \cdot 10^{-6}$ Торр и СВЧ-мощности 160 Вт показан на рис. 3.

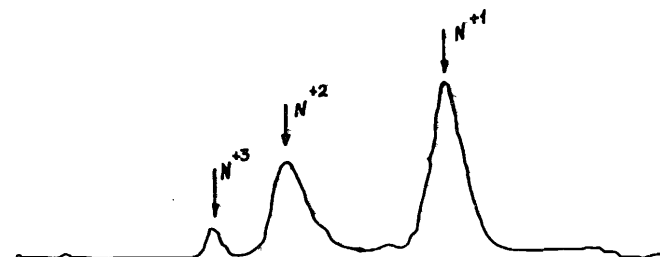


Рис. 3. Спектр ионов азота. ($U_{экстр} = 5 \text{ кВ}$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

— эксперименты показали, что в установке данной конструкции возможно получение ионов легких элементов в требуемом диапазоне A/Z ;

— Для получения устойчивого резонансного поглощения СВЧ-мощности в резонатор необходимо ввести подстроечные элементы либо использовать многомодовый резонатор больших размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lyneis C.M. — *Proc. of the 1987 IEEE Particle Accelerator Conference, March, 16-18, 1987, Washington, v.1, p.254.*
2. Ishii S., Amemiya H., Yanokura M. — *Japanese Journal of Applied Physics, 1986, v.25, No.9, p.L712.*
3. Melin G. et al. — *Intern. Conf. on the Physics of Multiply Charged Ions and International Workshop on ECR Ion Sources, September, 12-16, 1988, Grenoble, Centre of d'Etudes Nucleaires de Grenoble.*
4. Sudlitz K. — *Intern. Conf. on ECR Ion Source and Their Application, East Lansing, Michigan, November, 16-18, 1987, NSCL Report, MSUCP-47, p.380.*
5. Бехтерев В.В. и др. *ОИЯИ, 9-87-379, Дубна, 1987.*

Рукопись поступила в издательский отдел
26 декабря 1988 года.

Ефремов А.А., В.Б.Кутнер

P9-88-895

Исследование макета источника ионов
с СВЧ-нагревом электронов на частоте 2,45 ГГц

Исследована возможность получения легких ионов в диапазоне масс до кислорода для $A/Z = 2 \div 5$ при сравнительно низкой плотности плазмы ($n = 7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$). Установка ЛЯР ОИЯИ представляет из себя одномодовый резонатор. Аксиальное зеркальное магнитное поле создается соленоидальными катушками. Гексаполь отсутствует. Приведено зарядовое распределение и показана возможность получения ионов N^{3+} . Поглощение высокочастотной мощности происходит в области верхнегибридного резонанса. Состояние резонанса нестабильное.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Efremov A.A., Kutner V.B.

P9-88-895

Study of ECR Ion-Source Prototype with Superhigh
Frequency (SHF) Heating of Electrons at 2.45 GHz

The investigation of a possibility to produce light ions in the mass range to oxygen for $A/Z = 2 \div 5$ at a comparatively low plasma density ($n = 7 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$) has been performed. The test setup of LNR, JINR has been made on the base of a single-mode cavity. The axial mirror magnetic field is generated with solenoid coils. There is no hexapole. The charge distribution is given and the possibility is shown of the production of N^{3+} ions from this ion source. Absorption of the high frequency power occurs in the upper hybrid resonance region. The resonance state is unstable.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988