

УДК

## Электронно-лучевой источник многозарядных ионов ИМИ-2

В. Г. Абдульманов, Е. Н. Дементьев, Е. Г. Мигинская,  
Л. А. Мироненко, О. В. Пирогов, В. П. Томилов, В. М. Цуканов  
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

*Представлены основные параметры электронно-лучевого источника многозарядных ионов ИМИ-2. Приведены экспериментальные результаты.*

В электронно-лучевой системе (ЭОС) источника ИМИ-2 применена короткофокусная электронная пушка со сферическим катодом диаметром 16 мм и радиусом кривизны 9,5 мм. Переванс пушки 1,6 мкА/В<sup>3/2</sup>. Ток электронного пучка — до 2,5 А. Электростатическая и магнитная компрессия пучка  $\sim 10^3$  позволяет получить плотность электронного пучка в области ионизации не менее  $10^3$  А/см<sup>2</sup> на длине 30 см. В установке применен оригинальный метод дозированного напуска атомов твердых элементов в ионную ловушку путем импульсного локального отклонения электронного пучка [1].

Электронно-лучевой источник ионов (EBIS) ИМИ-2 (рис. 1) имеет вертикальную конструкцию с электронной пушкой в верхней части. Электронная пушка смонтирована на вакуумной камере, диаметр которой 160 мм, длина 500 мм. Вакуумная камера с дрейфовой структурой находится внутри классического водоохлаждаемого соленоида с полностью замкнутым магнитопроводом. В нижней части установки находятся электронный коллектор, ионопровод и магнитный анализатор.

Электронно-лучевой источник ионов ИМИ-2 [2—6], как и ИМИ-1 [7—9], разрабатывался в ИЯФ для получения пучков многозарядных ионов газообразных и твердых элементов. Установка ИМИ-2 по параметрам ЭОС является промежуточной между EBIS первого поколения [10—13] и EBIS, которые могут быть использованы на разрабатываемых ускорительных комплексах [14—16].

### Схема электронно-оптической и магнитной фокусирующей систем

Схема установки ИМИ-2 приведена на рис. 2. В источнике ИМИ-2 для получения высокой плотности электронного пучка  $\sim 10^3$  А/см<sup>2</sup> разработана ЭОС с двойной компрессией электронного пучка. В электронной пушке 1, 2 (см. рис. 2,б) осуществлена электростатическая компрессия электронного пучка  $\sim 100$ .

На втором этапе компрессия обеспечивается нарастающим фокусирующим магнитным полем соленоида 3. Для этого создается такое распределение магнитного поля в области от катода до кроссовера, при котором силовые линии магнитного поля совпадают с траекториями электронов. За кроссовером магнитное поле нарастает и обеспечивает дополнительную плавную компрессию электронного пучка при условии сохранения его ламинарности.

Необходимое распределение магнитного поля в области электронной пушки и электронного коллектора обеспечивается формой магнитных диафрагм (отверстий) в верхнем и нижнем полюсах магнитопровода 4, 5 и электромагнитными линзами 6, 7. Распределение магнитного поля в области дрейфа электронного пучка в фокусирующем магнитном поле соленоида обеспечивается конструктивными параметрами соленоида с магнитным полем до 0,9 Тл и магнитопровода.

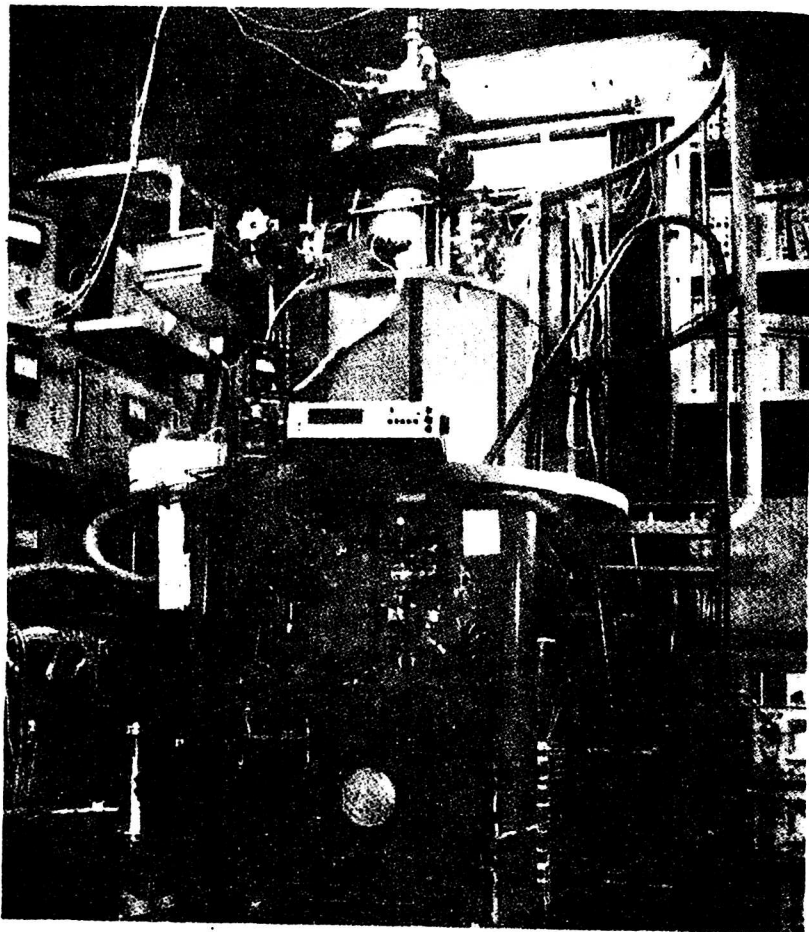


Рис. 1. Общий вид установки ИМН-2

Радиус электронного пучка в области ионизации — не более 0,3 мм на длине 30 см. Компрессия электронного пучка достигает  $10^3$ , а плотность электронного пучка  $\sim 10^3$  А/см<sup>2</sup> при токе в пучке 2 А. Емкость ионной ловушки достигает  $6 \cdot 10^{10}$ .

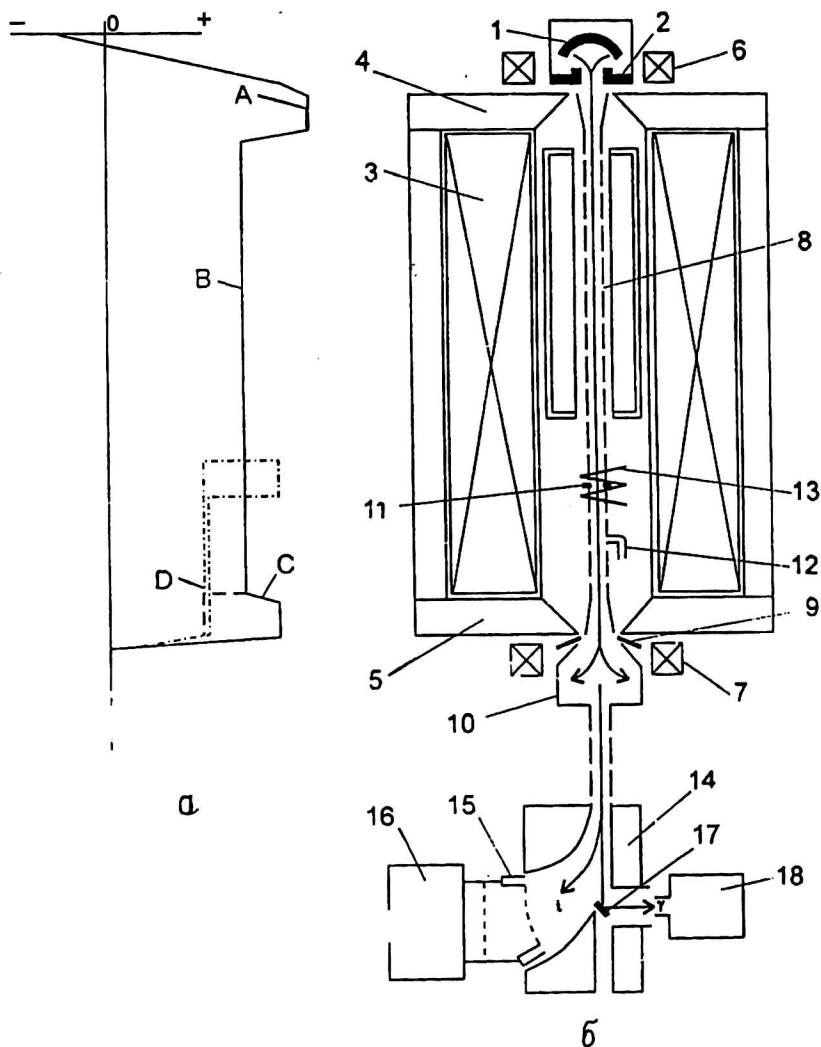
Дозированный напуск атомов твердотельных мишеней в ионную ловушку осуществляется путем импульсного регулируемого локального отклонения электронного пучка от его оси до касания с мишенью [1]. Ввиду высокой удельной мощности в электронном пучке  $\sim 10^7$  Вт/см<sup>2</sup> время его взаимодействия с мишенью составляет не более 10 мкс. Отклонение электронного пучка происходит с помощью аксиально-несимметричной импульсной катушки 13.

Напуск газа осуществляется через отверстие в стенке дрейфовой трубки 12.

Диаграмма распределения потенциалов приведена на рис. 2, а. Потенциал В ("дно" ионной ловушки) определяет энергию ионизирующего электронного пучка и энергию выводимых из ловушки ионов. Барьер А выше барьера С, что исключает засорение ионной ловушки примесными ионами из области электронной пушки.

Высота барьера А — до 1,5 кВ, барьера С — около 0,5 кВ. Потенциал В составлял в экспериментах величину  $5 \div 10$  кВ. Барьер С включается на нижние секции (см. рис. 1, а, сплошная линия) при работе с твердотельными элемен-

тами и при работе с газами для обеспечения дозированного напуска атомов в ловушку В (пунктирная линия). Длина ионной ловушки 30 см, область дрейфа — 50 см. Выпуск ионов из ловушки происходит при снижении барьера С до уровня D. Накопленные в ловушке ионы за счет собственного разброса скоростей выходят из ловушки и ускоряются в два этапа на разности потенциалов В — D в стационарном магнитном поле и затем на разности потенциалов между нижним конусом и электронным коллектором. Выпуск ионов осуществляется через отверстие в электронном коллекторе. Диаметр отверстия 10 мм.



**Рис. 2. Схема электронно-лучевого источника ИМИ-2 с диаграммой потенциалов:**  
 б — схема ИМИ-2: 1 — катод электронной пушки; 2 — анод электронной пушки; 3 — фокусирующая соленоид; 4, 5 — полюса магнитопровода; 6, 7 — электромагнитные линзы; 8 — дрейфовая структура; 9 — супрессор; 10 — электронный коллектор; 11 — твердотельные мишени; 12 — трубка напуска газа; 13 — импульсная катушка; 14 — магнитный анализатор; 15 — ионный коллектор; 16 — анализатор спектра; 17 — мишень; 18 — рентгеновский детектор;  
 а — диаграмма распределения потенциалов: В — потенциал "дна" ионной ловушки;  
 А — первый барьер ионной ловушки; С — второй барьер: сплошная линия — при работе с твердотельными элементами, пунктирная — при работе с газами; D — промежуточный потенциал при выпуске ионов

В экранированном от рассеянных магнитных полей ионопроводе сразу за электронным коллектором установлена электростатическая линза, ниже которой через шиббер (на схеме не показан) пристыкован магнитный анализатор 14 (см. рис. 2, б) многоламельным ионным коллектором 15, подключенным к многоканальному анализатору спектра 16. Магнитный анализатор обеспечивает анализ спектра ионов за одну перестройку поля в диапазоне  $Z_{\text{макс}}/Z_{\text{мин}} = 2$ .

При выключенном магнитном поле в анализаторе ионный пучок попадает на бериллиевую мишень, характеристическое излучение от которой попадает на рентгеновский детектор.

### Экспериментальные результаты

На установке ИМИ-2 достигнута плотность электронного пучка  $\sim 10^3 \text{ А/см}^2$ , что обеспечивает высокую эффективность ионизации даже во времяпролетном режиме (рис. 3). Вакуум в области ионной ловушки составляет  $\sim 10^{-9}$  торр, что ограничивает зарядность ионов рабочих образцов ввиду значительного засорения ионной ловушки ионами остаточного газа. На установке ИМИ-2 получены ионы  $\text{Ti}^{11+}$ .

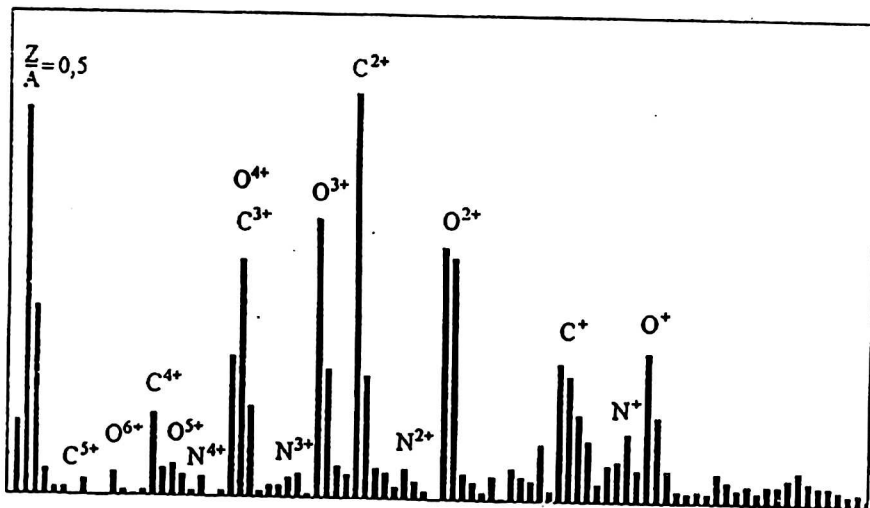


Рис. 3. Спектр ионов остаточного газа во времяпролетном режиме при вакууме  $\sim 5 \cdot 10^{-9}$  торр

Существующий криогенный насос обеспечивает в рабочей камере вакуум на уровне  $\sim 10^{-9}$  торр. Для реализации возможности ЭОС ИМИ-2 по достижении более высокой зарядности тяжелых ионов необходимо повысить вакуум в рабочей камере. Решение этой задачи может быть реализовано путем модернизации конструкции внутреннего криогенного насоса для исключения натекания гелия внутрь камеры.

При экспериментах на низком вакууме  $10^{-6}$  торр и ниже и создании специального распределения магнитного поля при условии полной компенсации электронного пучка в ионной ловушке наблюдается резкое увеличение (в  $10^3$  раз), тока ионов при снижении их средней зарядности [3].

Как видно из рис. 2, в ЭОС ИМИ-2 осуществляется рекуперация энергии электронного пучка на коллекторе в целях снижения рассеиваемой на нем мощности и снижения потребляемой ЭОС энергии. Энергия электронного пучка на коллекторе снижена до 10 % от энергии пучка в электронной пушке.

Конструкция установки ИМИ-2, вакуумная камера диаметром 160 мм, параметры систем питания и управления делают установку ИМИ-2 удобной для всесторонней обработки и моделирования электронно-оптических систем вновь разрабатываемых ионных источников EBIS [15 — 16].

### Л и т е р а т у р а

1. А. с. 1241922 СССР, 1986. Абдульманов В. Г., Ауслендер В. Л., Колокольников Ю. М., Мешков И. Н., Шарана А. Н., Шенцов В. В.
2. Abdulmanov V. G. In Proceedings 5-th International Symposium on Electron Beam Ion Sources and Their Applications, Eds. E. D. Donets and I. P. Yudin. JINR.— Dubna, 1992. P. 71.
3. Абдульманов В. Г., Колокольников Ю. М., Потапов В. Г., Кузякин Л. В. Электронно-лучевой источник многозарядных ионов ИМИ-2 // XIII совещание по ускорителям заряженных частиц: Тез. докл. — Дубна, 1992.
4. Abdulmanov V. G. Electron Beam Ion Source IMI-2 // List of expected Lectures and contributions to the 6th International Symposium on Electron Beam Ion Sources and their Applications. — Stockholm University, 1994.
5. Abdulmanov V. G., Bykov P. V., Dement'ev Ye. N., Miginskaya Ye. G., Mironenko L. A., Pirogov O. V., Tomilov V. P., Tsukanov V. M. Experiments on IMI-2//Proceedings for Symposium EBIS-7. — Germany, 1997.
6. Абдульманов В. Г., Дементьев Е. Н., Мигинская Е. Г., Мироненко Л. А., Пирогов О. В., Томилов В. П., Цуканов В. М. Электронно-лучевой источник многозарядных ионов ИМИ-2//В кн.: Четвертый Всероссийский семинар "Проблемы теоретической и прикладной электронной оптики": Тез. докл. — М., 1999. С. 76—77.
7. Абдульманов В. Г., Ауслендер В. Л., Колокольников Ю. М., и др. Электронно-лучевой источник многозарядных ионов ИМИ-1: Тр. X Всес. совещ. по ускорителям заряженных частиц. Т. 2. — Дубна, 1987. С. 51—54.
8. Абдульманов В. Г., Колокольников Ю. М., Мешков И. Н., Шарана А. Н. Электронно-оптическая система источника многозарядных ионов ИМИ-1: Тр. X Всес. совещ. по ускорителям заряженных частиц. Т. 2. — Дубна, 1987. С. 79—83.
9. Абдульманов В. Г., Авербух И. И., Ауслендер В. Л., и др. Ускорительный комплекс синхротрона Б-5 Радиового института: Тр. XII Всес. совещ. по ускорителям заряженных частиц. Т. 2. — Дубна, 1992. С. 106.
10. А. с. 248860 СССР, Донец Е. Д. Бюллетень ОИПОТЗ. 1969, № 24. С. 65.
11. Donetz E. D., Iyushenko V. I. and Alpert V. A.: Intern. Conf. On Ion sources. — Saclay 1969. — 635 с.
12. Донец Е. Д., Пикин А. И.//ЖЭТФ. 1976. № 70. С. 2026.
13. Донец Е. Д., Овсянников В. П.//ОИЯИ, Р7-10438. — Дубна, 1977.
14. Haseroth H. and Prelec K.//Physica Scripta. 1997. V. T71. P. 23—27.
15. Abdulmanov V. G., Nevsky P. V.//EBIS MIS-1 Project. Symposium "EBIS-7". — Germany. 1997.
16. Абдульманов В. Г., Короткова В. А., Масленников О. Ю. и др. Электронно-оптическая система источника многозарядных ионов MIS-1//В кн.: Четвертый Всероссийский семинар "Проблемы теоретической и прикладной электронной оптики": Тез. докл. — М., 1999. С. 77—78.

## Electron radiant of multicharged ions, IMI-2

V. G. Abdulmanov, E. N. Dementev, E. G. Miginskaya,  
L. A. Mironenko, O. V. Pirogov, V. P. Tomilov, V. M. Tsukanov  
The Budrer's Institute for Nuclear Physics SB RAS, Novosibirsk, Russia

*The main characteristics of electron radian of multicharged ions, IMI-2, are submitted. The experimental results are given.*