

Электронные и ионные пучки

УДК 537.533

Фокусирующая сверхпроводящая магнитная система электронно-лучевого источника многозарядных ионов MIS-1

В. Г. Абдульманов, П. Д. Воблый, В. Ф. Куликов, В. М. Сыроватин, А. В. Уткин
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

Для электронно-лучевого источника многозарядных ионов разработана фокусирующая сверхпроводящая магнитная система, совмещенная по оси с электронно-оптической системой. Магнитная система создает фокусирующее поле величиной 3 Тл вдоль оси дрейфовой структуры ионного источника.

Электронно-оптическая система разрабатываемого в БИЯФ варианта электронно-лучевого источника многозарядных ионов MIS-1, сокращенного по длине в два раза [1–3], обеспечивает плотность электронного пучка в ионной ловушке до $2 \cdot 10^3$ А/см² при токе 20 А и энергии электронов 40–50 кэВ. Длина ионной ловушки ~ 80 см, а ее емкость по электронам — до $0,8 \cdot 10^{12}$. Внутренний диаметр электродов дрейфовой структуры, по оси которой проходит электронный пучок, не более 5 мм. Дрейфовая структура размещена по оси вакуумной камеры диаметром 250 мм.

Фокусирующая сверхпроводящая магнитная система

Для обеспечения ламинарности электронного пучка с данными параметрами разработана совмещенная по оси с электронно-оптической системой аксиально-симметричная магнитная фокусирующая система, включающая в свой состав сверхпроводящий соленоид длиной 1 м с магнитопроводом, находящимся при комнатной температуре, две электромагнитные линзы, расположенные в области электронной пушки, и электронный коллектор. Магнитная система создает фокусирующее магнитное поле величиной 3 Тл вдоль оси дрейфовой структуры ионного источника на длине ~ 800 мм. При этом обеспечиваются необходимое согласование магнитных и электрических полей в области короткофокусной сферической электронной пушки, диаметр катода 34 мм, радиус кривизны катода 21,5 мм (рис. 1). Распределение магнитного поля в электронном коллекторе обеспечивает высокий уровень рекуперации энергии электронного пучка.

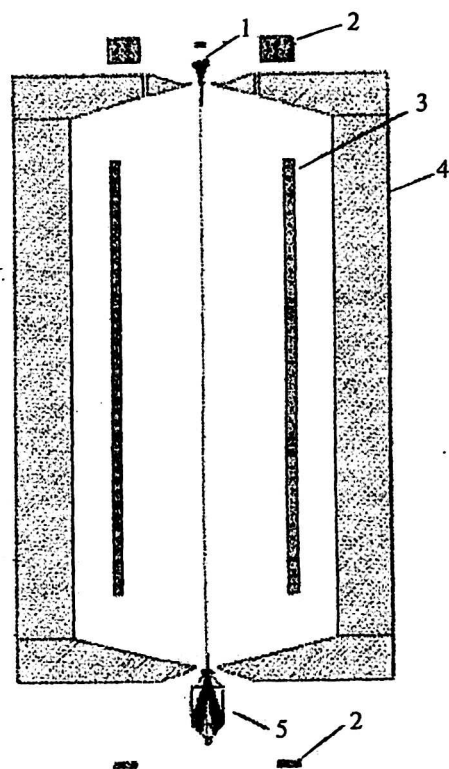


Рис. 1. Распределение силовых линий магнитного поля в источнике MIS-1:

1 — катод электронной пушки; 2 — электромагнитные линзы; 3 — сверхпроводящий соленоид; 4 — магнитопровод; 5 — электронный коллектор

Расчеты магнитной системы источника MIS-1 проводились с помощью созданной в БИЯФ компьютерной программы “Мермейд”.

Система MIS-1 имеет вертикальную конструкцию и состоит из сверхпроводящего соленоида длиной 1 м, размещенного в криостате, наружного магнитопровода, двух электромагнитных линз, расположенных в области электронной пушки, и электронного коллектора.

Сверхпроводящий соленоид диаметром 38 мм и максимальным магнитным полем на оси 3 Тл обладает большим запасом энергии магнитного

поля 440 кДж. При срыве сверхпроводимости при такой запасенной энергии магнитного поля произойдет разрушение сверхпроводящей катушки соленоида. Для предотвращения этого соленоид выполнен в виде трех секций длиной: первая — 33 см; вторая — 34 см; третья — 33 см, зашунтированных резисторами. В этом случае при срыве сверхпроводимости в одной из секций соленоида в катушку последнего поступит только 1/3 запасенной магнитной энергии всего соленоида.

Намотка секций соленоида выполнена профилированной и разбита на 11 участков (рис. 2), это позволяет исключить влияние разрывов в намотке соленоида в местах соединения секций на магнитное поле на оси соленоида. Увеличение плотности тока на концах сверхпроводящей обмотки соленоида дает возможность получить высокую однородность фокусирующего магнитного поля на длине 80 см вдоль оси с отклонениями значений ~ 3 % при значении магнитного поля $B = 3$ Тл (рис. 3). При этом наружный магнитопровод и магнитные диафрагмы источника остаются немагнитными, что обеспечивает постоянство заданной конфигурации магнитного поля в области электронной пушки и коллектора электронов вне зависимости от магнитного поля в сверхпроводящем соленоиде.

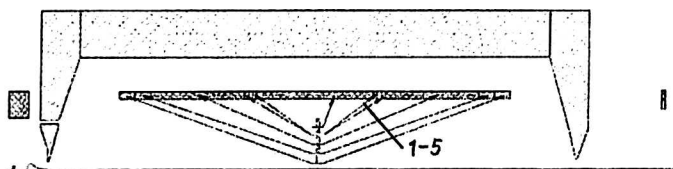


Рис. 2. Распределение тока в сверхпроводящем соленоиде, кА: 1 — 150; 2 — 200; 3 — 576; 4 — 36; 5 — 720

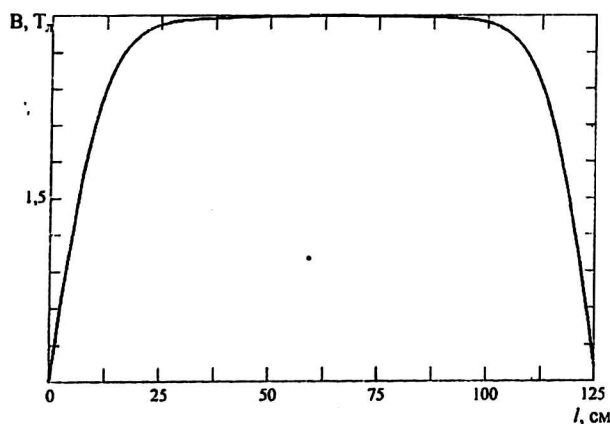


Рис. 3. Распределение магнитного поля по оси сверхпроводящей обмотки соленоида

По оси магнитной фокусирующей системы, в верхнем полюсе, находятся магнитная диафрагма специальной формы и электромагнитная линза, которые обеспечивают точное согласование магнитного и электрического полей в области электронной пушки от катода до кроссовера (см. рис. 1).

По оси магнитной фокусирующей системы, в нижнем полюсе, в области электронного коллектора расположены вторая магнитная диафрагма специальной формы и электромагнитная линза, которые создают необходимый спад магнитного поля в электронном коллекторе для обеспечения высокой степени рекуперации электронного пучка (см. рис. 1).

Для полного совмещения осей электронно-оптической и магнитной систем предусмотрена юстировка криостата со сверхпроводящей обмоткой соленоида внутри магнитопровода.

Заключение

В целях минимизации размеров системы и повышения однородности фокусирующего магнитного поля на оси вдоль дрейфа электронного пучка криостат состоит из двух соединенных друг с другом частей. Основная часть со сверхпроводящим соленоидом расположена внутри магнитопровода, вторая часть с запасом жидкого гелия и азота для работы соленоида — снаружи его. В ней размещены токовыводы на 300 А для обмотки соленоида. В рабочем состоянии из криостата испаряется в сутки 3 л жидкого гелия и 4 л жидкого азота. Запас жидкого гелия и азота обеспечивает работу сверхпроводящего соленоида в течение не менее 48 ч.

Литература

1. Abdul'manov V. G., Korotkova V. L., Maslennikov O. Yu., Nevsky P. V., Rybachek V. P., Fedyaev V. K. Electron-Optic System of the Multicharge Ion Source (MIS-1) // Proceedings of SPIE. 2000. V. 4187. P. 56—61.
2. Abdulmanov V., Nevsky P., Rybachek V., Fedyaev V. Simulation of the High Power Electron Beam Formation and Recuporation Designed for Ion Source // Proceeding of the 13th International Conference on High Power Particle Beams BEAMS - 2000. — Nagaoka, Japan, June 25—30, 2000. P. 885—888.
3. Abdulmanov V. G., Maslennikov O. Yu., Nevsky P. V., Rybachek V. P., Fedyaev V. K. Electron-Optic System Of The Multicharge Ion Source (MIS-1) // Electron beam Ion Sources and Their Applications, 8th Intl. Symp. — American Institute of Physics, 2001. P. 170—177.

Focalizing superconducting system for the MIS-1 electron beam source of multiply charged ions

V. G. Abdulmanov, P. D. Vobly, V. F. Kulikov, V. M. Syrovatin, A. V. Utkin
Budker Institute for Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia

For the electron beam source of multiple charged ions the focalizing superconducting magnet system have been designed. It is mated with an electron-optical system on an axis. The magnet system creates a focusing field of 3 Tl along an axis of a drift structure of the ion source.