

ОБЩАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ
ТЕХНИКА

УДК 537.291

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ЛИНЗА ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ПУЧКА
ИОНОВ МАГНЕТРОННОГО ИСТОЧНИКА

©2023 г. А. А. Терентьев^{а,*}

^аНациональный исследовательский центр “Курчатовский институт”

Россия, 123098, Москва, пл. Академика Курчатова, 1

*e-mail: Terentev_AA@nrcki.ru

Поступила в редакцию 19.05.2023 г.

После доработки 23.05.2023 г.

Принята к публикации 30.07.2023 г.

Описаны принципиальная схема и конструкция электростатической линзы для коррекции и дополнительной фокусировки пучка, выходящего из источника ионов магнетронного типа. Представлен чертеж такой линзы.

1. ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В физических экспериментах ионные пучки небольшой интенсивности часто получают при помощи источника магнетронного типа. Этим источникам присущ следующий недостаток: рассеянное магнитное поле отклоняет пучок в горизонтальной плоскости, ионы выходят не по радиусу цилиндра-катода. Такое отклонение показано на рис. 1а. Корпус источника 5 находится под ускоряющим потенциалом U_{acc} , а входной патрубок 6 — под потенциалом земли.

Рис. 1

Для компенсации этого отклонения и фокусировки пучка была разработана электростатическая линза, результат работы которой показан на рис. 1б. Видно, что после коррекции пучок идет строго по радиусу катода и дополнительно фокусируется.

Значение U_{acc} в установке составляло от 800 В до 1.2 кВ и менялось, исходя из требований эксперимента, номинальное значение магнитного поля в источнике составляло $B_0=100$ Гс. Требовалось обеспечить возможно лучшую фокусировку в указанном диапазоне U_{acc} при отклонении величины B_0 от номинального значения на ± 5 Гс.

Рис. 2

При этом расхождение пучка в вертикальной плоскости изначально было приемлемым (рис. 2а) из-за большого размера входного окна установки. Поэтому линза должна была, по крайней мере, не ухудшать фокусировку в этом направлении. Но удалось добиться значительного улучшения фокусировки и в вертикальной плоскости (рис. 2б).

При разработке линзы было выдвинуто требование максимальной простоты ее изготовления. В качестве основного материала было решено использовать пластину из стали X18H10T толщиной 0.8 мм.

2. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ СХЕМА

Рис. 3

Сначала была разработана общая электростатическая схема линзы. После рассмотрения нескольких вариантов остановились на схеме, показанной на рис. 3. Она состоит из двух П-образных потенциальных электродов 2 и 3, двух плоских земляных электродов 1 и 4 и выходной диафрагмы 5. Диафрагма находится под потенциалом U_{acc} , а электроды 2 и 3 — под некоторыми потенциалами, меньшими U_{acc} и пропорциональными последнему.

Далее был проведен подбор оптимальной геометрии электродов и значений потенциалов на них. Для этого выполнялось моделирование траекторий ионов программой SIMION 7.0 [1]. Подбором геометрии удалось добиться того, что оба потенциальных электрода находятся под одним потенциалом U_L ; U_L — единственный параметр, изменение которого возможно в процессе эксплуатации, он настраивается из соображений лучшей фокусировки.

Задача моделирования осложнялась тем, что, к сожалению, область, из которой выходят ионы, точно неизвестна. Кроме того, ионы стартуют из разряда не точно по радиусу цилиндра, а имеют некоторое распределение по направлениям (углам), которое тоже неизвестно.

Было проведено моделирование траекторий ионов для разных точек старта и различных начальных направлений. Оно показало, что эти параметры мало влияют на общую картину. Фокусировка пучка сохраняется, размеры электродов приходится изменять в пределах точности изготовления, напряжение лучшей фокусировки меняется незначительно. В реальном же пучке будут присутствовать ионы, вышедшие из различных точек и под разными начальными углами. Поэтому исходный пучок (без линзы) будет более широким и размытым, чем на рис. 1а.

Полученные при моделировании размеры электродов приведены на рис. 3. Лучшая фокусировка была получена при $U_L=0.16U_{acc}$, именно она показана на рис. 1б.

3. КОНСТРУКЦИЯ

Рис. 4

Конструктивно линза представляет собой электростатический блок, закрепленный в корпусе. Конструкция блока показана на рис. 4. Потенциальные электроды 2 и 3 были соединены между собой двумя винтами М3 и составляли единый узел. К этому узлу были приклеены фарфоровые пластины 6 и 7, которые накладывались на несущие площадки земляных электродов 1 и 4 и тоже приклеивались. Выходная диафрагма 5 крепилась к ушкам малого потенциального электрода при помощи двух фарфоровых трубок 8 диаметром 2 мм. Эта часть конструкции также склеивалась. Таким образом, блок содержал всю электростатическую часть линзы. При сборке блок юстировался.

Рис. 5

В нижней части земляных электродов были выполнены опорные площадки, которыми этот узел закреплялся тремя винтами М3 на несущей пластине 9 (рис. 5), которая ранее была установлена в корпусе 10.

Линза предназначалась для действующей установки и размещалась в трубе внутреннего диаметра 80 мм, где не было никаких элементов для ее крепления. Для решения этой проблемы был разработан способ крепления, получивший название “труба в трубе”. Корпус был выполнен разрезным из отрезка трубы диаметром 78мм. В разрез были вставлены два клина 11, которые стягивались винтом М4. Вся конструкция устанавливалась в нужное место трубы, после чего затягивался винт. Корпус разжимался и фиксировался.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Рис. 6

Линза была изготовлена и испытана. При испытании измерялся ток пучка на зонд, установленный около выходного среза входного патрубка 6 (рис. 1). Размеры зонда были такие же, что и у входного окна рабочей части установки, $18 \times 16 \text{ мм}^2$. При $U_{acc} = 1000 \text{ В}$ ток источника I без линзы составлял 0.48 мА, а с линзой 2.1 мА, т.е. увеличивался более, чем в 4 раза. Лучшая фокусировка достигалась при $U_L = 0.15 U_{acc}$ (рис. 6а). При этом изменение U_L от $0.14 U_{acc}$ до $0.16 U_{acc}$ изменяло I меньше, чем на 5%. Изменение магнитного поля в источнике тоже слабо влияло на I (рис. 6б). Для других значений U_{acc} картина оставалась практически той же.

В настоящее время описанная линза используется на действующей установке и хорошо выполняет свои функции. Ее использование с магнетронным источником оказалось вполне оправданным. Возможно, подобная линза может быть использована и в

других случаях для коррекции ионных пучков, проходящих через области слабого магнитного поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Computer code SIMION 3D Version 7.0 Sci. Instrum. Services, Ringoes, NJ 08551, USA.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис. 1. Отклонение ионного пучка в магнетронном источнике в горизонтальной плоскости: 1 — газоразрядная камера, 2 — магнитное поле, 3 — нить накала (катод), 4 — выходная щель, 5 — корпус источника (анод), 6 — входной патрубок установки, 7 — ионный пучок.

Рис. 2. Расхождение ионного пучка в вертикальной плоскости.

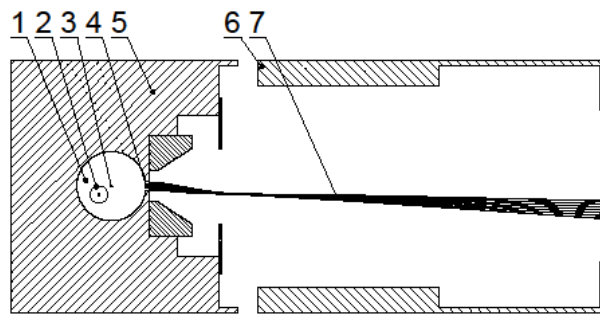
Рис. 3. Электростатическая схема линзы.

Рис. 4. Электростатический блок.

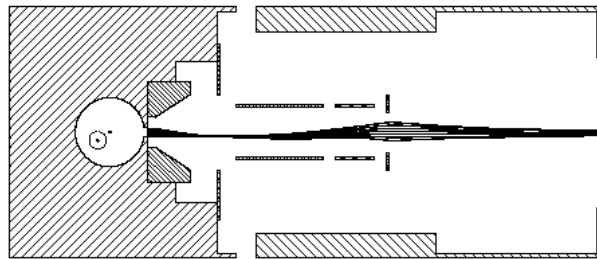
Рис. 5. Конструкция линзы.

Рис. 6. Изменение тока пучка при отклонении напряжения на линзе (а), магнитного поля в источнике (б).

цифры - курсив

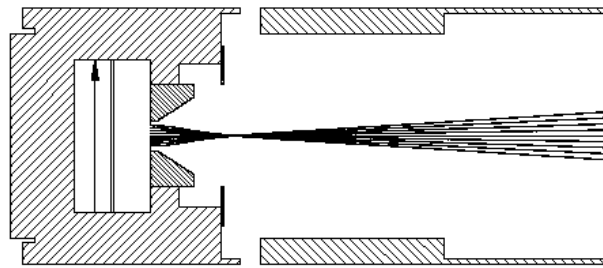


(a)

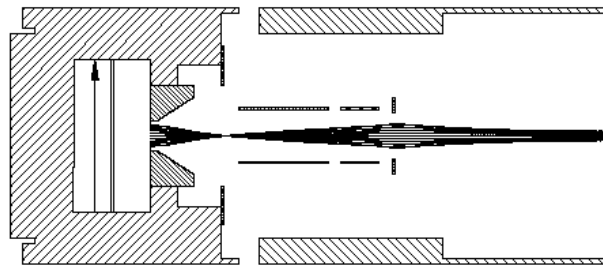


(b)

Рис. 1



(a)



(б)

Рис. 2

цифры - курсив

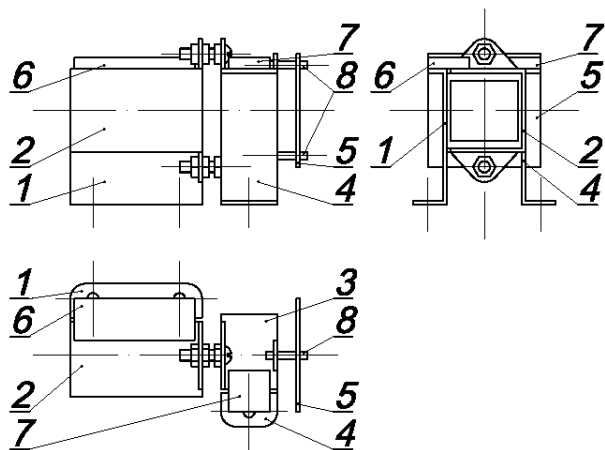


Рис. 4

цифры с указками - курсив

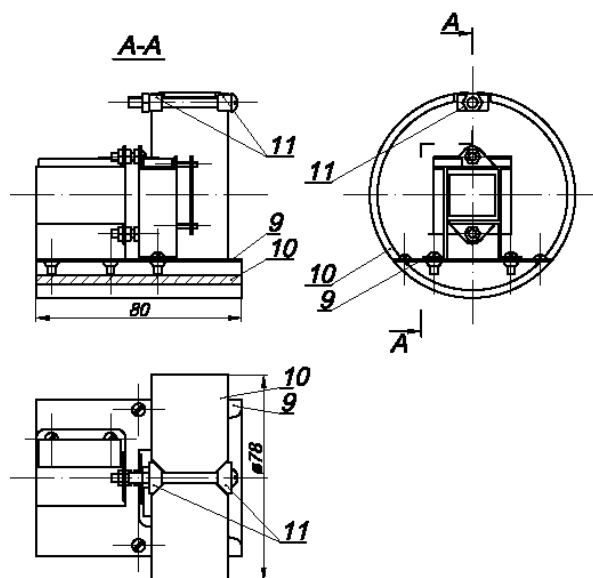


Рис. 5

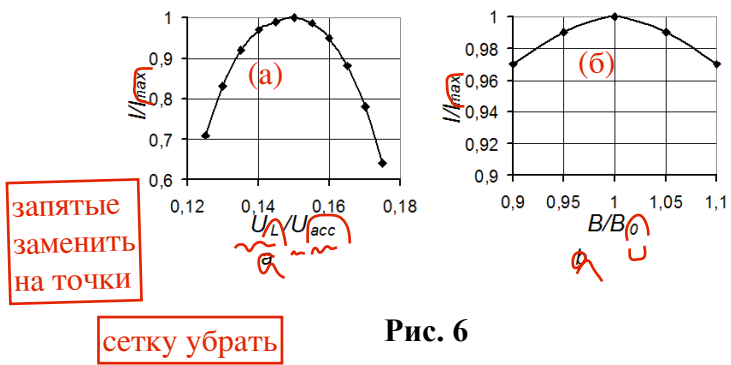


Рис. 6

Для связи с автором:

Терентьев А.А.

*Национальный исследовательский центр
“Курчатовский институт”
Россия, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1*

**Терентьев Андрей Александрович
Тел. 8-916-978-01-84 (моб.)
E-mail: Terentev_AA@nrcki.ru**

Переводчику:

An electrostatic lens for correcting the ion beam of a magnetron source.

Аннотация:

The schematic diagram and design of an electrostatic lens for correction and additional focusing of a beam coming out of a magnetron-type ion source are described. A drawing of such a lens is presented.