



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H01J 3/04 (2023.05)

(21)(22) Заявка: 2023116992, 28.06.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.06.2023

Дата регистрации:
05.09.2023

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 28.06.2023

(45) Опубликовано: 05.09.2023 Бюл. № 25

Адрес для переписки:
115569, Москва, ул. Маршала Захарова, 6, к. 3,
кв. 37/38, Козловскому К.И.

(72) Автор(ы):

Полозов Сергей Маркович (RU),
Дмитриев Максим Игоревич (RU),
Козловский Константин Иванович (RU),
Шиканов Александр Евгеньевич (RU),
Дерябочкин Олег Владимирович (RU),
Индюшный Евгений Николаевич (RU),
Мелехов Андрей Петрович (RU),
Морозова Екатерина Алексеевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Козловский Константин Иванович (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 199475 U1, 03.09.2020. RU 186565
U1, 24.01.2019. US 2011248164 A1, 13.10.2011 .
US 2019378687 A1, 12.12.2019. US 2016126059
A1, 05.05.2016.

(54) ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ИОНОВ

(57) Реферат:

Предлагаемая полезная модель относится к разделу электрических вакуумных приборов, а точнее к приборам, создающим пучки ионов с помощью излучения лазера для использования в системе инжекции ускорителей однозарядных и многозарядных ионов. Технический результат устройства заключается в повышении эффективности применения импульсного источника ионов в различных ускорителях ионов за счет существенного увеличения потока ионов с заданным Z/A по отношению к общему количеству всех ионов на выходе источника. Этот результат достигнут тем, что в импульсном источнике ионов, содержащем вакуумный цилиндрический пролетный канал в виде трубы с внутренним диаметром d , импульсный лазер, лазерную мишень, устройство фокусировки лазерного излучения, соленоид длиной L_s , охватывающий трубу вакуумного цилиндрического пролетного канала, его блок

питания, формирующий электрод на выходе трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, источник напряжения, блок управления, соединенный с импульсным лазером, блоком питания соленоида длиной L_s и с источником напряжения, дополнительно введены корректирующий соленоид длиной L_{cs} и импульсный блок питания соленоида длиной L_{cs} , корректирующий соленоид длиной L_{cs} охватывает часть трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, которая окружает лазерную мишень и которая выполнена из диэлектрика, оставшаяся часть трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, охваченная соленоидом длиной L_s , выполнена из металла и соединена с источником напряжения, кроме этого, блок управления соединен с импульсным блоком питания корректирующего соленоида длиной L_{cs} , формирующий электрод заземлен и изолирован

от части трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, выполненной из металла, причем корректирующий соленоид длиной L_{cs} отстоит от соленоида длиной L_s на расстоянии L ,

а величины L, d, L_{cs} удовлетворяют соотношению $l > L/d > L_{cs}/d$. Такая сепарация ионов позволяет эффективно осуществлять захват потока ионов требуемой зарядности Z/A в дальнейший тракт ускорителей.

R U 2 2 0 2 8 1 U 1

R U 2 2 0 2 8 1 U 1

Предлагаемая полезная модель относится к разделу электрических вакуумных приборов, а точнее к приборам, создающим пучки ионов с помощью излучения лазера для использования в системе инжекции ускорителей однозарядных и многозарядных ионов.

5 Известен аналог полезной модели, описанный в [1]. Это устройство состоит из вакуумной камеры с оптическим вводом, импульсного лазера, фокусирующей линзы, лазерной мишени, источника напряжения и коллектора ионов. Под действием излучения импульсного лазера, направляемого на мишень, происходит испарение облучаемой части лазерной мишени, ионизация испаренного вещества и образование плазменного
10 сгустка, разлетающегося со скоростью $\sim 10^5$ м/с. На начальной стадии разлета плазмы происходит «закалка» ее ионизационного состояния, сопровождающаяся практическим прекращением столкновений частиц. При прикладывании между коллектором и лазерной мишенью отрицательного потенциала с помощью источника напряжения происходит
15 извлечение ионов из плазмы. Недостатком этого устройства является невозможность его эффективного использования в качестве инжектора резонансного ускорителя ионов из-за ограничений сверху на длительность ионного импульса.

Этот недостаток преодолен в техническом решении, описанном в работе [2], за счет использования вакуумного пролетного канала, позволяющего обеспечить существенное
20 увеличение длительности ионного импульса.

Недостатком этого аналога является наличие значительных потерь ионов на стенках пролетного канала.

Этого недостатка лишено техническое решение [3], которое может быть принято в качестве прототипа - импульсный источник ионов, содержащий вакуумный
25 цилиндрический пролетный канал с оптическим вводом, импульсный лазер, лазерную мишень, устройство для фокусировки лазерного излучения на лазерную мишень, соленоид, охватывающий вакуумный цилиндрический пролетный канал, источник напряжения, формирующий электрод, блок питания соленоида.

В результате воздействия магнитного поля соленоида происходит контрагирование плазменного потока в области пролетного канала, снижающее потери ионов на его
30 стенках и увеличение потока ионов на его выходе вакуумного цилиндрического пролетного канала.

Недостатком прототипа является отсутствие возможности создания оптимальных условий для извлечения ионов формирующим электродом с фиксированным соотношением Z/A , где Z - заряд иона, A - его атомный вес.

35 Техническим результатом предлагаемого импульсного источника ионов является существенное увеличение на выходе вакуумного цилиндрического пролетного канала потока ионов только с заданным соотношением Z/A по отношению к общему количеству ионов лазерной плазмы, разлетающейся в вакуумном цилиндрическом пролетном канале.

40 Указанный технический результат обеспечивается тем, что в импульсный источник ионов, содержащий вакуумный цилиндрический пролетный канал в виде трубы с внутренним диаметром d , импульсный лазер, лазерную мишень, устройство фокусировки лазерного излучения, соленоид длиной L_s , охватывающий трубу вакуумного
45 цилиндрического пролетного канала, его блок питания, формирующий электрод на выходе трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, источник напряжения, блок управления, соединенный с импульсным лазером, блоком питания соленоида длиной L_s и с источником напряжения, дополнительно введены корректирующий

соленоид длиной L_{cs} и импульсный блок питания соленоида длиной L_{cs} , корректирующий соленоид длиной L_{cs} охватывает часть трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, которая окружает лазерную мишень и которая выполнена из диэлектрика, оставшаяся часть трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, охваченная соленоидом длиной L_s , выполнена из металла и соединена с источником напряжения, кроме этого, блок управления соединен с импульсным блоком питания корректирующего соленоида длиной L_{cs} , формирующий электрод заземлен и изолирован от части трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, выполненной из металла, причем корректирующий соленоид длиной L_{cs} отстоит от соленоида длиной L_s на расстоянии L , а величины L , d , L_{cs} удовлетворяют соотношению $1 > L/d > L_{cs}/d$.

Это соотношение было получено по результатам компьютерного эксперимента, проведенного в соответствии с алгоритмом, описанным в [4].

Достижение технического результата основано на совместном влиянии магнитных полей соленоида длиной L_{cs} и соленоида длиной L_s , имеющих различную величину индукции магнитного поля и их протяженность вдоль трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала [5]. Причем магнитное поле корректирующего соленоида длиной L_{cs} формирует поперечный размер лазерно-плазменного сгустка на входе в часть трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, выполненную из металла, а магнитное поле соленоида длиной L_s обеспечивает дальнейшее контрагирование плазмы и улучшает условия транспортировки плазменного потока к формирующему электроду.

Процесс формирования поперечного размера лазерно-плазменного сгустка на входе в трубу вакуумного цилиндрического пролетного канала иллюстрируется следующим образом. Оценка радиуса ρ плазменного потока на этой стадии:

$$\rho \approx \frac{AMV_{\perp}}{ZeB_{cs}},$$

где M - масса нуклона, кг, V_{\perp} - поперечная скорость ионов лазерно-плазменного факела, e - заряд электрона, Кл, B_{cs} - индукция импульсного магнитного поля корректирующего соленоида, Тл, вытекает из закона Ньютона и формулы для силы Лоренца. Корректирующий соленоид обеспечивает баланс магнитного и газокINETического давлений плазмы в области лазерной мишени так, чтобы поперечный размер лазерно-плазменного сгустка был примерно равен внутреннему диаметру d диэлектрической части трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала.

Поперечная скорость

$$V_{\perp} \approx 2 \cdot 10^5 \sqrt{\frac{Z}{A}}$$

получена на основе данных из книги [6]. Полагая, что $\rho = d/2$, а зарядность иона может лежать в диапазоне от 1 до Z , получаем возможные пределы изменения индукции B_{cs} магнитного поля первого соленоида длиной L_{cs}

$$1 < 2.5 \cdot 10^2 B_{cs} d \sqrt{\frac{Z}{A}} < \sqrt{Z}.$$

Индукция магнитного поля, создаваемая длинным соленоидом, ограничена

техническими пределами, связанными с возможным нагревом пролетной трубы. Поэтому основное влияние на процесс формирования плазменного потока оказывает импульсный корректирующий соленоид, амплитуда которого может существенно превышать значение индукции магнитного поля длинного соленоида. Импульсный характер магнитного поля корректирующего соленоида потребовал выполнения части трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, прилегающей к лазерной мишени, из диэлектрического материала.

Варьирование индукции B_{cs} корректирующего соленоида и напряжения U на трубе вакуумного цилиндрического пролетного канала позволяет достигнуть максимально возможного значения тока ионов с заданной зарядностью Z , извлекаемых из трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала.

Предлагаемое устройство поясняется фиг. 1, на которой представлен конкретный пример исполнения импульсного источника ионов и схема расположения его элементов. Устройство содержит следующие позиции: 1 - узел лазерной мишени с устройством ее сканирования, пристыкованной к трубе вакуумного цилиндрического пролетного канала, 2 - корректирующий соленоид длиной L_{cs} , охватывающий диэлектрическую часть 3 трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, 4 - соленоид длиной L_s , охватывающий металлическую часть 5 трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, 6 - изолятор между трубой вакуумного цилиндрического пролетного канала 5 и заземленным формирующим электродом 7, 8 - лазерная мишень, внутри диэлектрической части трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала 3, 9 - оптический ввод лазерного излучения в трубу вакуумного цилиндрического пролетного канала 3, 10 - линза, фокусирующая лазерное излучение на мишени 8, 11 - импульсный лазер, 12 - источник напряжения на металлической части трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала 5, 13 - блок питания корректирующего соленоида 2 длиной L_{cs} , 14 - блок управления и синхронизации, 15 - блок питания соленоида 4 длиной L_s .

Устройство работает следующим образом. Поток излучения от импульсного лазера 11 проходит через фокусирующую линзу 10, через оптический ввод лазерного излучения в трубу вакуумного цилиндрического пролетного канала 9 и фокусируется на поверхности лазерной мишени 8 внутри диэлектрической части 3 трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала. Образующийся лазерно-плазменный факел разлетается в диэлектрической части 3 трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала. С помощью импульсного магнитного поля с индукцией B_{cs} корректирующего соленоида 2 длиной L_{cs} подавляется поперечный разлет лазерной плазмы и формируется цилиндрический лазерно-плазменный факел с поперечным размером приблизительно равным внутреннему диаметру d . При этом создается изменение величины B_{cs} условия, чтобы ионы с определенным значением Z/A полностью попадали в металлическую часть 5 трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала. Далее под действием магнитного поля с индукцией B_s лазерная плазма продолжает транспортироваться внутри металлической части 5 трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала до его выхода, где происходит отделение ионов от электронов в зазоре перед заземленным формирующим электродом 7. Настройка выделения ионов с определенным Z/A осуществляется путем изменения и настройки величины B_{cs} и величины U .

В процессе прохождения лазерной плазмы металлической части 5 трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала происходит перегруппировка ионов по координате,

когда самые быстрые ионы оказываются в передней части лазерно-плазменного сгустка, а медленные ионы формируют задний фронт импульса потока ионов. Поскольку доля медленных ионов, как и общее число ионов в сгустке возрастает, то полученный после прохождения металлической части 5 трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала лазерно-плазменный сгусток имеет большую длительность импульса, чем при отсутствии магнитного поля. В результате длительность получаемого ионного импульса возрастает более чем на порядок.

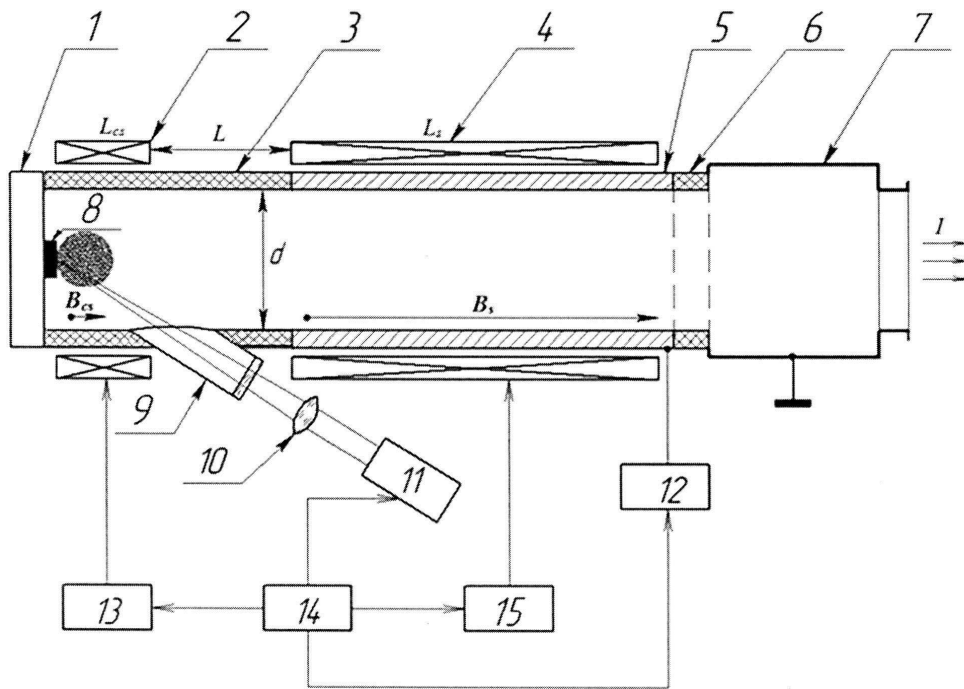
Таким образом, полезная модель позволяет повысить эффективность применения импульсного источника ионов в различных ускорителях ионов за счет существенного увеличения потока ионов с заданным Z/A по отношению к общему количеству всех ионов на выходе источника. Такая сепарация ионов позволяет эффективно осуществлять захват потока ионов требуемой зарядности Z/A в дальнейший тракт ускорителей.

Список литературы

1. Исследование интенсивного лазерного источника дейтронов. Козловский К.И., Цыбин А.С., Шиканов А.Е. и др. Журнал технической физики, 1979, т. 49, №5, с. 2003-2006.
2. Лазерная плазма. Физика и применения. Ананьин О.Б., Афанасьев Ю.В., Быковский Ю.А., Крохин О.Н. М., МИФИ, 2003, с. 359-364.
3. Импульсный источник ионов. Козловский К.И. и др. Патент РФ №199475, опубликовано 03.09.2020 г., Бюл №25.
4. Vovchenko E.D., Deryabochkin O.V., Kozlovskii K.I. et. al. Physics of Atomic Nuclei. Vol.84, No. 11, 2021, pp. 1886-1890.
5. О влиянии продольного магнитного поля на разлет ионов лазерной плазмы. Козырев Ю.П., Козловский К.И., Цыбин А.С., Физика плазмы, 1980, т.6, в. 1, с. 69-72.
6. Лазерная плазма. Физика и применения. Ананьин О.Б., Афанасьев Ю.В., Быковский Ю.А., Крохин О.Н. М., МИФИ, 2003, с. 175-186.

(57) Формула полезной модели

Импульсный источник ионов, содержащий вакуумный цилиндрический пролетный канал в виде трубы с внутренним диаметром d , импульсный лазер, лазерную мишень, устройство фокусировки лазерного излучения, соленоид длиной L_s , охватывающий трубу вакуумного цилиндрического пролетного канала, его блок питания, формирующий электрод на выходе трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, источник напряжения, блок управления, соединенный с импульсным лазером, блоком питания соленоида длиной L_s и с источником напряжения, отличающийся тем, что в него дополнительно введены корректирующий соленоид длиной L_{cs} и импульсный блок питания соленоида длиной L_{cs} , корректирующий соленоид длиной L_{cs} охватывает часть трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, которая окружает лазерную мишень и которая выполнена из диэлектрика, оставшаяся часть трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, охваченная соленоидом длиной L_s , выполнена из металла и соединена с источником напряжения, кроме этого, блок управления соединен с импульсным блоком питания корректирующего соленоида длиной L_{cs} , формирующий электрод заземлен и изолирован от части трубы вакуумного цилиндрического пролетного канала, выполненной из металла, причем корректирующий соленоид длиной L_{cs} отстоит от соленоида длиной L_s на расстоянии L , а величины L , d , L_{cs} удовлетворяют соотношению $1 > L/d > L_{cs}/d$.



Фиг. 1