



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H01J 3/04 (2024.01)

(21)(22) Заявка: 2023116993, 28.06.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.06.2023

Дата регистрации:
15.08.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.06.2023

(45) Опубликовано: 15.08.2024 Бюл. № 23

Адрес для переписки:

115569, Москва, ул. Маршала Захарова, 6, к. 3,
кв. 37/38, Козловскому Константину
Ивановичу

(72) Автор(ы):

Полозов Сергей Маркович (RU),
Козловский Константин Иванович (RU),
Шиканов Александр Евгеньевич (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 2191441
C2, 20.10.2002. Ананьин О.Б. и др. Лазерная
плазма. Физика и применения, МИФИ, 2003,
с. 359-364. А.Е. Шиканов и др. Формирование
потоков дейтронов в малогабаритном
высоковольтном сильноточном диоде с
импульсной магнитной изоляцией, Журнал
технической физики, 2017, том 87, вып. 6, с.
949-951. RU 186565 U1, (см. прод.)

(54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ИСТОЧНИКОМ ИОНОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу управления лазерным источником ионов. Способ включает фокусировку излучения импульсного лазера на твердую мишень, образование лазерной плазмы, направление потока плазмы в вакуумный цилиндрический пролетный канал с внутренним диаметром d , находящийся под напряжением U , контрагирование ионного потока лазерной плазмы в вакуумном цилиндрическом пролетном канале продольным, постоянным магнитным полем, создаваемым постоянным соленоидом, охватывающим вакуумный цилиндрический пролетный канал, извлечение ионов из вакуумного цилиндрического пролетного канала электрическим полем. Причем на лазерную плазму дополнительно воздействуют корректирующим магнитным полем с индукцией B , локализованным в области между лазерной мишенью и вакуумным цилиндрическим

пролетным каналом и создаваемым импульсным соленоидом, варьируют индукцию этого магнитного поля B в возможных пределах, определяемых условиями

$$\frac{1}{\sqrt{Z}} < 2.5 \cdot 10^2 \frac{Bd}{\sqrt{A}} < 1, \text{ где } A - \text{ атомная масса}$$

иона, Z - его зарядность, варьируют напряжение U на вакуумном цилиндрическом пролетном канале, достигая при этом максимального значения тока ионов с заданной зарядностью Z , извлекаемого из вакуумного цилиндрического пролетного канала. Техническим результатом является существенное увеличение на выходе вакуумного пролетного канала потока ионов только с заданным соотношением Z/A по отношению к общему количеству ионов лазерной плазмы, разлетающейся в вакуумном пролетном канале. 1 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H01J 3/04 (2024.01)

(21)(22) Application: **2023116993, 28.06.2023**

(24) Effective date for property rights:
28.06.2023

Registration date:
15.08.2024

Priority:

(22) Date of filing: **28.06.2023**

(45) Date of publication: **15.08.2024** Bull. № 23

Mail address:

**115569, Moskva, ul. Marshala Zakharova, 6, k. 3,
kv. 37/38, Kozlovskomu Konstantinu Ivanovichu**

(72) Inventor(s):

**Polozov Sergej Markovich (RU),
Kozlovskij Konstantin Ivanovich (RU),
Shikanov Aleksandr Evgenevich (RU),
Morozova Ekaterina Alekseevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

Kozlovskij Konstantin Ivanovich (RU)

(54) **METHOD OF CONTROLLING LASER ION SOURCE**

(57) Abstract:

FIELD: plasma physics.

SUBSTANCE: invention relates to a method of controlling a laser ion source. Method includes focusing radiation of a pulsed laser on a solid target, formation of laser plasma, direction of plasma flow into vacuum cylindrical flight channel with inner diameter *d*, which is under voltage *U*, contraction of the ion flow of the laser plasma in the vacuum cylindrical flight channel with a longitudinal, constant magnetic field created by a constant solenoid covering the vacuum cylindrical flight channel, extraction of ions from vacuum cylindrical flight channel by electric field. Laser plasma is additionally exposed to a correcting magnetic field with induction *B*, localized in the area between the laser target and the vacuum cylindrical flight channel and created by the pulse solenoid, varying the induction of

this magnetic field *B* within the possible limits determined by the condition

$$\frac{1}{\sqrt{Z}} < 2.5 \cdot 10^2 \frac{Bd}{\sqrt{A}} < 1, \text{ where } A \text{ is the atomic}$$

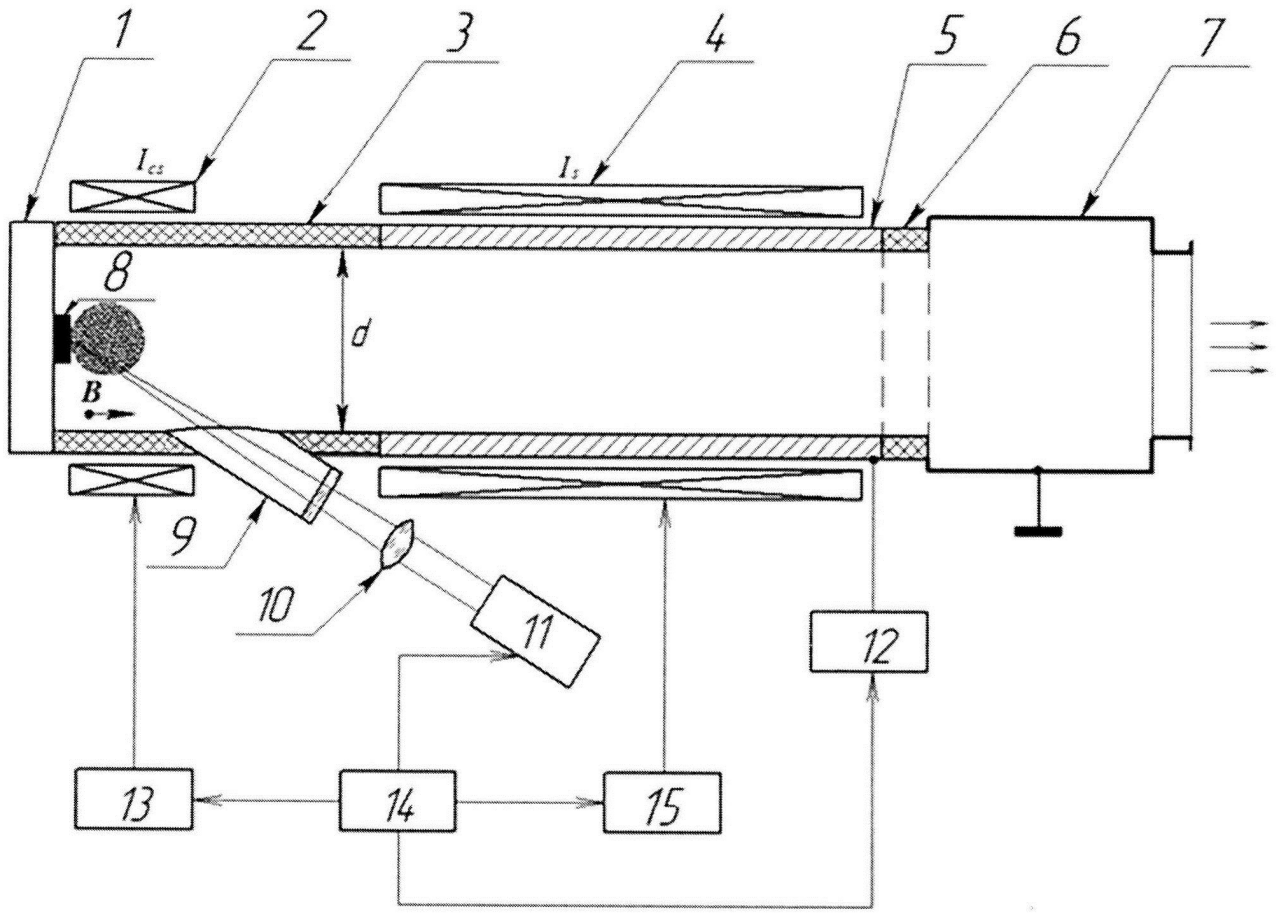
mass of the ion, *Z* is its charge, voltage *U* on the vacuum cylindrical flight channel is varied, thus achieving maximum value of current of ions with the specified charge *Z*, extracted from the vacuum cylindrical flight channel.

EFFECT: significant increase at the outlet of the vacuum transit channel of the flow of ions only with a given ratio *Z/A* relative to the total number of ions of the laser plasma scattering in the vacuum transit channel.

1 cl, 1 dwg

RU 2 824 913 C1

RU 2 824 913 C1



Фиг. 1

Изобретение относится к области создания электрических вакуумных приборов, а точнее к способам управления пучков ионов, создаваемых с помощью излучения лазера, и предназначено для использования в системах инъекции однозарядных и многозарядных ионов в ускорители.

5 В известных устройствах [1], состоящих из вакуумной камеры с оптическим вводом, импульсного лазера, фокусирующей линзы, лазерной мишени, источника напряжения и коллектора ионов, формирование ионных потоков происходит следующим образом. Под действием излучения импульсного лазера, направляемого на мишень, происходит испарение облучаемой части лазерной мишени, ионизация испаренного вещества и
10 образование плазменного сгустка, который разлетается со скоростью фронта $\sim 10^5$ 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 извлечение ионов из плазмы.
15 Недостатком этого устройства является невозможность его эффективного использования в качестве инжектора ускорителей ионов из-за ограничений сверху на длительность потока ионов.

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

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 пролетный
25 канал с оптическим вводом, импульсный лазер, лазерную мишень, устройство для фокусировки лазерного излучения на лазерную мишень, соленоид, охватывающий вакуумный пролетный канал, источник напряжения, формирующий электрод, блок питания соленоида.

30 В результате воздействия магнитного поля соленоида происходит контрагирование плазменного потока в области пролетного канала, снижающее потери ионов на его стенках и увеличение потока ионов на его выходе вакуумного 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 изобретения является способ управления лазерным источником ионов, при котором достигается 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 способе управления лазерным источником ионов, включающем фокусировку излучения импульсного лазера на твердую мишень, образование лазерной плазмы, направление потока плазмы в вакуумный цилиндрический пролетный канал с внутренним диаметром d , находящийся под напряжением U , контрагирование ионного потока лазерной плазмы в вакуумном
45 цилиндрическом пролетном канале продольным, постоянным магнитным полем, создаваемым постоянным соленоидом с током I_s , охватывающим вакуумный цилиндрический пролетный канал, извлечение ионов из вакуумного цилиндрического пролетного канала электрическим полем, на лазерную плазму дополнительно

воздействуют корректирующим магнитным полем с индукцией B , локализованным в области между лазерной мишенью и вакуумным цилиндрическим пролетным каналом и создаваемым импульсным соленоидом с током I_{cs} , варьируют индукцию этого магнитного поля B , в возможных пределах, определяемых условием

$$\frac{1}{\sqrt{Z}} < 2.5 \cdot 10^2 \frac{Bd}{\sqrt{A}} < 1,$$

где A - атомная масса иона, Z - его зарядность, варьируют напряжение U на вакуумном цилиндрическом пролетном канале, достигая при этом максимального значения тока ионов с заданной зарядностью Z , извлекаемого из вакуумного цилиндрического пролетного канала.

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 импульсного соленоида с током I_{cs} и постоянного соленоида с током I_s (см. фиг. 1), имеющих различную величину индукции магнитного поля и их протяженность вдоль вакуумного цилиндрического пролетного канала [5]. Причем корректирующее магнитное поле импульсного соленоида с током I_{cs} формирует поперечный размер лазерно-плазменного сгустка на входе в вакуумный цилиндрический пролетный канал, а продольное, постоянное магнитное поле постоянного соленоида с током I_s обеспечивает прохождение в вакуумном цилиндрическом пролетном канале плазмы и улучшает условия извлечения ионов на выходе из вакуумного цилиндрического пролетного канала электрическим полем.

Процесс формирования поперечного размера лазерно-плазменного сгустка на входе в вакуумный цилиндрический пролетный канал иллюстрируется следующим образом. Оценка радиуса ρ плазменного потока на этой стадии:

$$\rho \approx \frac{AMV_{\perp}}{ZeB},$$

где M - масса нуклона, кг, V_{\perp} - поперечная скорость ионов лазерно-плазменного факела, e - заряд электрона, Кл, B - амплитуда индукции корректирующего магнитного поля импульсного соленоида с током I_{cs} , Тл, вытекает из закона Ньютона и формулы для силы Лоренца. Корректирующее магнитное поле импульсного соленоида с током I_{cs} обеспечивает баланс магнитного и газокINETического давлений плазмы в области твердой мишени так, чтобы поперечный размер лазерно-плазменного сгустка был примерно равен внутреннему диаметру d входа в вакуумный цилиндрический пролетный канал.

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 корректирующего магнитного поля импульсного соленоида с током I_{cs}

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

Индукция продольного, постоянного магнитного поля, создаваемая постоянным
 5 соленоидом с током I_s , ограничена техническими пределами, связанными с возможным
 нагревом вакуумного цилиндрического пролетного канала. Поэтому основное влияние
 на процесс формирования плазменного потока оказывает корректирующее магнитное
 поле импульсного соленоида с током I_{cs} , амплитуда которого может существенно
 10 превышать значение индукции продольного, постоянного магнитного поля постоянного
 соленоида с током I_s . Импульсный характер корректирующего магнитного поля
 импульсного соленоида с током I_{cs} , в частности, требует выполнения входной части
 вакуумного цилиндрического пролетного канала, охватывающей твердую мишень, из
 диэлектрического материала.

15 Варьирование индукции B и напряжения U на выходе вакуумного цилиндрического
 пролетного канала позволяет достигнуть максимально возможного значения тока
 ионов с заданной зарядностью Z , извлекаемых из вакуумного цилиндрического
 пролетного канала.

Способ управления лазерным источником ионов поясняется фиг. 1, на которой
 20 представлен конкретный пример управления потоком ионов лазерного источника
 ионов и схема расположения обеспечивающих блоков. Излучение импульсного лазера
 11, проходя через оптический ввод 9 внутрь части вакуумного цилиндрического
 пролетного канала 3, фокусируется линзой 10 на твердую мишень 8, расположенную
 на торце 1 части вакуумного цилиндрического пролетного канала 3. Над поверхностью
 25 твердой мишени 8 образуется лазерная плазма, разлетающаяся в частях вакуумного
 цилиндрического пролетного канала 3 и 5. В части вакуумного цилиндрического
 пролетного канала 3 с помощью корректирующего магнитного поля импульсного
 соленоида 2 с током I_{cs} подавляется поперечный разлет лазерной плазмы и формируется
 30 цилиндрический лазерно-плазменный факел с поперечным размером приблизительно
 равным внутреннему диаметру d обеих частей вакуумного цилиндрического пролетного
 канала 3 и 5. При этом изменением величины I_{cs} и, соответственно, индукции
 корректирующего магнитного поля B создаются условия, при которых ионы только с
 определенным значением Z/A эффективно транспортируются в обеих частях вакуумного
 цилиндрического пролетного канала 3 и 5. Далее продольное, постоянное магнитное
 35 поле постоянного соленоида 4 с током I_s обеспечивает дальнейшее прохождение лазерно-
 плазменного факела в части вакуумного цилиндрического пролетного канала 5 и
 улучшает условия извлечения ионов электрическим полем, создаваемым блоком 12 на
 кольцевом изоляторе 6. В результате варьирования индукции корректирующего
 40 магнитного поля B и напряжения U на выходе части вакуумного цилиндрического
 пролетного канала 5 осуществляется настройка выделения ионов только с определенным
 Z/A , достигая при этом максимально возможного значения тока ионов с заданной
 зарядностью Z , извлекаемых из части вакуумного цилиндрического пролетного канала
 5 на корпус 7. На фиг. 1 также обозначены блок 13 импульсного соленоида 2, блок 14
 45 импульсного лазера 11 и блок 15 постоянного соленоида 4.

Таким образом, заявленный способ управления лазерным источником ионов просто
 реализуем на практике и позволяет путем воздействия подстраиваемых напряжения U
 и тока I_{cs} , с учетом продольного, постоянного магнитного поля постоянного соленоида

4 с током I_s существенно увеличить на выходе вакуумного цилиндрического пролетного канала поток ионов только с заданным соотношением Z/A по отношению к общему количеству ионов лазерной плазмы, разлетающейся в вакуумном цилиндрическом пролетном канале. Такая сепарация ионов позволяет эффективно осуществлять захват

5 потока ионов требуемой зарядности Z/A в дальнейший тракт ускорителей, что повышает эффективность применения лазерного источника ионов в различных ускорителях ионов.

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.

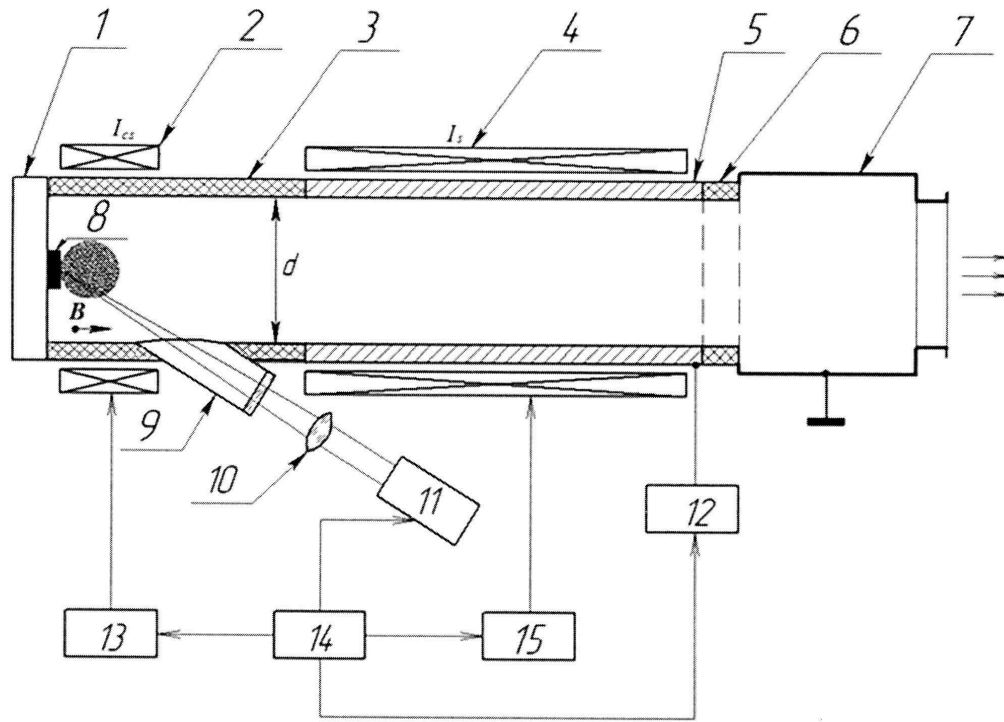
6. Лазерная плазма. Физика и применения. Ананьин О.Б., Афанасьев Ю.В., Быковский Ю.А., Крохин О.Н. М., МИФИ, 2003, с. 175-186.

(57) Формула изобретения

Способ управления лазерным источником ионов, включающий фокусировку излучения импульсного лазера на твердую мишень, образование лазерной плазмы, направление потока плазмы в вакуумный цилиндрический пролетный канал с внутренним диаметром d , находящийся под напряжением U , контрагирование ионного потока лазерной плазмы в вакуумном цилиндрическом пролетном канале продольным, постоянным магнитным полем, создаваемым постоянным соленоидом, охватывающим вакуумный цилиндрический пролетный канал, извлечение ионов из вакуумного цилиндрического пролетного канала электрическим полем, отличающийся тем, что на лазерную плазму дополнительно воздействуют корректирующим магнитным полем с индукцией B , локализованным в области между лазерной мишенью и вакуумным цилиндрическим пролетным каналом и создаваемым импульсным соленоидом, варьируют индукцию этого магнитного поля B в возможных пределах, определяемых

$$\frac{1}{\sqrt{Z}} < 2.5 \cdot 10^2 \frac{Bd}{\sqrt{A}} < 1,$$

где A - атомная масса иона, Z - его зарядность, варьируют напряжение U на вакуумном цилиндрическом пролетном канале, достигая при этом максимального значения тока ионов с заданной зарядностью Z , извлекаемого из вакуумного цилиндрического пролетного канала.



Фиг. 1