



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G21K 1/00 (2024.08)

(21)(22) Заявка: 2024123512, 15.08.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.08.2024

Дата регистрации:
26.09.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.08.2024

(45) Опубликовано: 26.09.2024 Бюл. № 27

Адрес для переписки:

308015, г.Белгород, ул. Победы, 85, НИУ
"БелГУ", ОИС, Цурикова Наталья Дмитриевна

(72) Автор(ы):

Вохмянина Кристина Анатольевна (RU),
Кубанкин Александр Сергеевич (RU),
Кубанкина Анна Андреевна (RU),
Сотникова Валентина Сергеевна (RU),
Пятигор Артем Дмитриевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

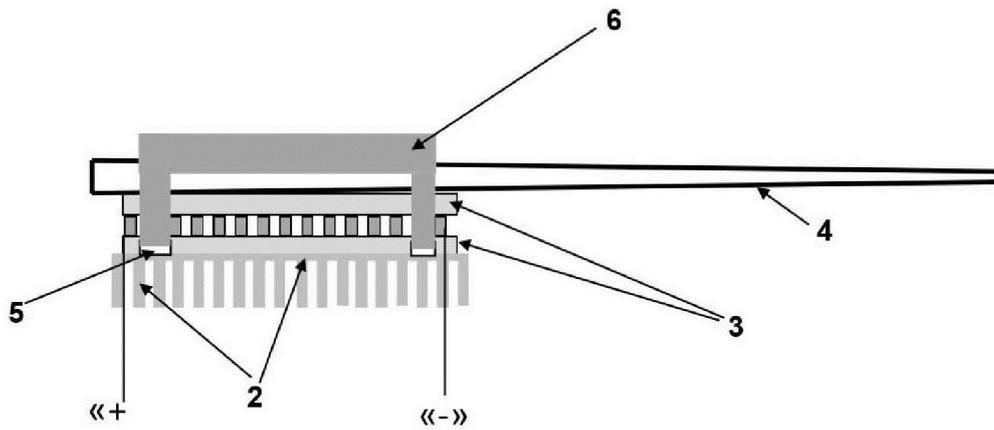
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: К.А. Vokhmyanina et. al. Guiding of
a beam of 10 keV electrons by micro size tapered
glass capillary. // Nuclear Instruments and
Methods in Physics Research B 355 (2015), pp.
307-310. RU 156716 U1, 10.11.2015. EP 4143856
A1, 08.03.2023. US 9799481 B2, 24.10.2017. WO
2017034432 A1, 02.03.2017. RU 168703 U1,
15.02.2017. EP 2620951 A4, 01.04.2015. (см.
прод.)

(54) Устройство для управляемого увеличения плотности тока пучка заряженных частиц с помощью диэлектрических сужающихся каналов

(57) Реферат:

Полезная модель относится к технике фокусировки пучков ускоренных заряженных частиц и может быть использована для прецизионного облучения любых, в том числе, биологических объектов микронных и субмикронных поперечных размеров пучками заряженных частиц высокой плотности при проведении научных исследований твердых тел, биологических объектов, в медицинских целях, в области электронной микроскопии и литографии. Устройство содержит диэлектрический сужающийся канал, установленный в вакуумной камере на платформе. Причем диэлектрический сужающийся канал установлен на платформе в

виде элемента Пельтье, вставленного в паз радиатора и осуществляющего управляемое увеличение плотности тока пучка, прошедшего через диэлектрический сужающийся канал. Диэлектрический сужающийся канал с элементом Пельтье прижаты к радиатору с помощью прижимной арки с центрирующим треугольным пазом посредством четырех крепежных винтов и четырех мягких силиконовых шайб. Техническим результатом является возможность регулируемого посредством использования элемента Пельтье увеличения плотности тока пучка заряженных частиц, проходящих через диэлектрический сужающийся канал. 3 ил.



Фиг. 2

(56) (продолжение):

EP 2826345 A1, 21.01.2015. US 8822946 B2, 02.09.2014. RU 113859 U1, 27.02.2012. US 4392080 A1, 05.07.1983. US 3500108 A1, 10.03.1970.

RU 229203 U1

RU 229203 U1

Полезная модель относится к технике фокусировки пучков ускоренных заряженных частиц и может быть использована для прецизионного облучения любых, в том числе, биологических объектов микронных и субмикронных поперечных размеров пучками заряженных частиц высокой плотности.

5 Наряду с традиционными способами фокусировки пучков заряженных частиц известны новые способы увеличения плотности тока пучков заряженных частиц с помощью сужающихся диэлектрических каналов. Многочисленные исследования показали, что диэлектрические сужающиеся каналы способны увеличивать плотность пучка заряженных частиц на несколько порядков, что делает данный способ
10 фокусировки привлекательным для практической реализации.

Известно техническое решение, описанное в патенте «Устройство и способ фокусировки и ускорения параллельных пучков заряженных частиц» (US №4392080 (A), публ. 05.07.1983 г.), принцип действия которого основан на использовании системы электростатических квадрупольных линз. Данное устройство обеспечивает фокусировку
15 пучков заряженных частиц с помощью разбиения начального пучка на набор параллельных пучков, каждый из которых фокусируется одной квадрупольной линзой. Недостатком данного устройство является сложность конструкции и используемого программного обеспечения, ввиду необходимости синхронизации всех элементов.

Также известно «Устройство для фокусировки пучков ускоренных заряженных
20 частиц» (патент RU 113859 U1, публ. 27.02.2012 г.), которое устанавливается в вакууммируемом объеме. Данное устройство включает диэлектрический канал, заполненный легкоплавким диэлектриком и располагаемый между источником ускоренных заряженных частиц и облучаемым объектом. В канал параллельно его оси вводится пучок ускоренных частиц из источника. Для осуществления фокусировки
25 пучка ускоренных заряженных частиц легкоплавкий диэлектрик облучается потоком заряженных частиц от источника до формирования в нем сквозного суживающегося канала. После этого пучок направляется на облучаемый объект. Недостатком данного устройства является невозможность регулировки степени фокусировки пучка
30 заряженных частиц, а также переменный поперечный размер выходящего пучка ввиду постоянного нагрева легкоплавкого диэлектрика частью пучка заряженных частиц.

К общим недостаткам известных аналогов следует отнести отсутствие возможности управляемо корректировать работу устройства, то есть увеличивать плотность тока пучка в случае ее уменьшения в течение работы устройства без нарушения условий
35 эксперимента. По мере прохождения заряженных частиц через диэлектрический канал вследствие возникновения радиационных дефектов во внутренних стенках канала, он в течение нескольких минут работы теряет фокусирующие свойства и может быть электростатически заперт. О возникновении радиационных дефектов свидетельствует потемнение стекла, из которого изготовлен канал. Для восстановления возможности
40 увеличения плотности тока пучка заряженных частиц с помощью сужающегося диэлектрического канала, канал необходимо либо облучить пучком электронов (если первоначально в исследовании используется пучок положительно заряженных ионов) - в этом случае требуется дополнительный источник электронов, либо необходимо нагреть канал для отжига радиационных дефектов, возникающих при прохождении
45 через канал пучка электронов. В этом случае требуется извлечь хрупкий канал из вакуумной системы, предварительно нарушив вакуум и исходные условия исследования. Затем канал необходимо поместить в печь для отжига, и после восстановления оптических свойств стекла, из которого изготовлен канал, следует его снова установить в вакуумную камеру и произвести откачку системы. Данная операция отнимает время

и требует наличие печи для отжига. Кроме того, ввиду хрупкости канала данная операция может привести к его необратимой поломке.

Наиболее близким к заявленному техническому решению является простое энергонезависимое устройство для фокусировки пучков ускоренных электронов - диэлектрический сужающийся канал, располагаемый на держателе в виде платформы, соосно с фокусируемым пучком, в вакуумной камере. (К.А. Vokhmyanina, G.P. Pokhil, P.N. Zhukova et. al. Guiding of a beam of 10 keV electrons by micro size tapered glass capillary. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 355 (2015) 307-310) (<https://drive.google.com/file/d/1bhd12vMWa4CNR25Op6lfiC6u6nr8Kznl/view?usp=sharing>). Данное устройство показало возможность эффективной фокусировки пучка электронов, однако недостатком прототипа является отсутствие возможности поддержания постоянного прохождения электронов через канал без его «запираания» за счет накопления радиационных дефектов.

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое техническое решение, является создание устройства, позволяющего управляемо увеличивать плотность тока пучка заряженных частиц с помощью диэлектрических сужающихся каналов.

Поставленная задача решается с помощью устройства для управляемого увеличения плотности тока пучка заряженных частиц с помощью диэлектрических сужающихся каналов, содержащее диэлектрический сужающийся канал, установленный в вакуумной камере на платформе, причем, диэлектрический сужающийся канал установлен на платформе в виде элемента Пельтье, вставленного в паз радиатора, где элемент Пельтье и радиатор позволяют осуществлять управляемое увеличение плотности тока пучка, прошедшего через диэлектрический сужающийся канал, кроме того, диэлектрический сужающийся канал с элементом Пельтье прижаты к радиатору с помощью прижимной арки с центрирующим треугольным пазом посредством четырех крепежных винтов и четырех мягких силиконовых шайб, обеспечивающих безопасное крепление диэлектрического сужающегося канала.

Использование в конструкции устройства элемента Пельтье позволяет управляемо увеличивать плотность тока пучка заряженных частиц, прошедших через диэлектрический сужающийся канал.

Предлагаемое устройство отличается от описанного в прототипе тем, что диэлектрический сужающийся канал помещается непосредственно на элемент Пельтье, обеспечивающий регулировку температуры. В процессе прохождения пучка заряженных частиц через диэлектрический сужающийся канал его внутренние стенки модифицируются, обеспечивая бесконтактное прохождение и увеличение плотности тока основной части пучка заряженных частиц через канал. Вследствие модификации по мере облучения пучком заряженных частиц в стенках диэлектрического сужающегося канала образуются радиационные дефекты, которые в процессе эксплуатации устройства постепенно электростатически запирают канал. Однако при охлаждении диэлектрического сужающегося канала с помощью элемента Пельтье его функции по увеличению плотности пучка заряженных частиц восстанавливаются.

Преимущество предлагаемой полезной модели заключается в возможности управляемого увеличения плотности тока пучка заряженных частиц за счет регулирования температуры диэлектрического сужающегося канала с помощью элемента Пельтье. Также использование элемента Пельтье позволяет восстановить работу канала, не нарушая основную схему эксперимента (канал не требуется извлекать из вакуумной камеры, также не требуется использование дополнительных устройств для восстановления характеристик канала).

Технический результат заключается в регулируемом увеличении плотности тока пучка заряженных частиц, проходящих через диэлектрический сужающийся канал, что обусловлено использованием элемента Пельтье.

Полезная модель поясняется чертежом.

5 Фиг. 1 - Общий вид предлагаемой полезной модели, вид спереди.

Фиг. 2 - Общий вид предлагаемой полезной модели, вид сбоку.

Фиг. 3 - Общий вид предлагаемой полезной модели, вид сверху.

Устройство состоит из вакуумной камеры 1, радиатора 2, элемента Пельтье 3, диэлектрического сужающегося канала 4, четырех мягких силиконовых шайб 5, прижимной арки 6 с центрирующим треугольным пазом (фиг. 1 и фиг. 2) и четырех
10 крепежных винтов 7 (фиг. 3).

Вакуумная камера 1 (фиг. 1 и фиг. 2), корпус которой заземлен, представляет собой ограниченный объём, в котором создаётся давление не более 10^{-6} торр. Радиатор 2 (фиг. 1 и фиг. 2) представляет собой металлическую пластину с прямоугольным пазом,
15 выполненную из алюминия, которая предназначена для отвода лишнего тепла от элемента Пельтье 3 (фиг. 1 и фиг. 2), тем самым обеспечивая нормальный температурный режим работы устройства. Элемент Пельтье 3 - устройство, позволяющее регулировать температуру диэлектрического сужающегося канала 4 (фиг. 1 и фиг. 2) и тем самым
20 осуществить отжиг радиационных дефектов, возникающих на внутренних стенках диэлектрического сужающегося канала 4, не извлекая его и не нарушая вакуум в системе. Площадь поверхности радиатора 2 должна превышать площадь поверхности элемента Пельтье 3. Элемент Пельтье 3 устанавливается в прямоугольный паз радиатора 2, обеспечивая тем самым надежное крепление. Диэлектрический сужающийся канал 4,
25 изготовлен из боросиликатного стекла и предназначен для увеличения плотности тока пучка заряженных частиц, проходящего через этот канал, устанавливается на элемент Пельтье 3. Диаметр входного отверстия диэлектрического сужающегося канала 4 превышает диаметр выходного отверстия. Мягкие силиконовые шайбы 5 (фиг. 1 и фиг. 2) используются для фиксации диэлектрического канала 4 прижимной аркой 6 с
30 центрирующим пазом (фиг. 1 и фиг. 2) на элементе Пельтье 3 и предназначены для предотвращения деформации диэлектрического канала 4 при установке прижимной арки 6 с центрирующим пазом на радиатор 2 с помощью четырех крепежных винтов 7 (фиг. 3). Прижимная арка 6 с центрирующим треугольным пазом, позволяющим легко
35 устанавливать канал любого внешнего диаметра в центре элемента Пельтье и радиатора, а также крепежные винты 7 изготовлены из металла.

Устройство работает следующим образом.

Для осуществления работы в вакуумную камеру 1 устанавливается сборка, состоящая из радиатора 2 и прикрепленного к нему элемента Пельтье 3, на котором установлен диэлектрический сужающийся канал 4, закрепленный с помощью мягких силиконовых
40 шайб 5, прижимной металлической арки 6 с центрирующим пазом и четырех крепежных винтов 7. После этого, вакуумная камера 1 закрывается и осуществляется процесс откачки воздуха. Давление в вакуумной камере 1 должно составлять порядка 10^{-6} торр. После того, как давление в вакуумной камере 1 достигнет рабочего значения, вводится пучок заряженных частиц. Пучок заряженных частиц проходит через диэлектрический
45 сужающийся канал 4, при этом плотность тока пучка увеличивается в зависимости от геометрических параметров диэлектрического сужающегося канала 4 и остается постоянной на протяжении нескольких минут. Когда плотность тока начинает падать в результате электростатического запираания диэлектрического сужающегося канала 4, на элемент Пельтье 3 подается напряжение, полярность которого определяется таким

образом, чтобы поверхность соприкосновения элемента Пельтье 3 с диэлектрическим сужающимся каналом 4 охладилась. Предельное напряжение, подаваемое на элемент Пельтье 3, определяется достижением первоначальной плотности тока пучка. При этом первоначально достигнутая плотность тока пучка остается постоянной в течение
5 нескольких минут и позволяет производить необходимые измерения.

Пример.

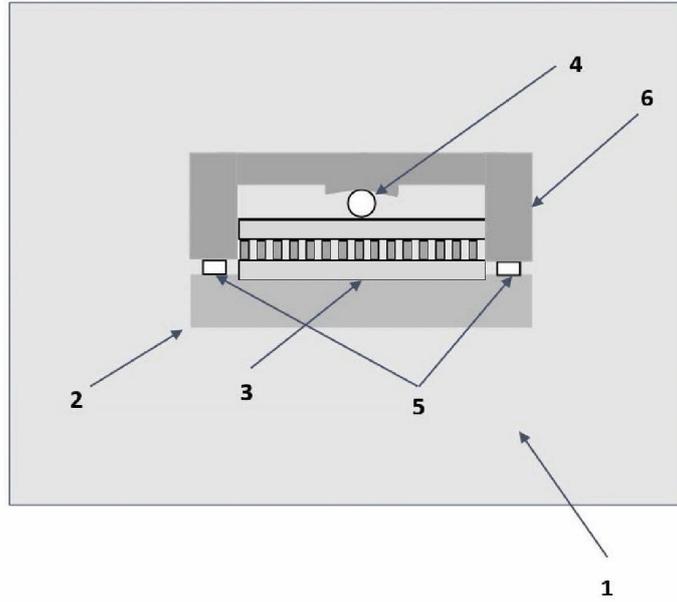
Для осуществления работы устройства, в вакуумную камеру 1, изготовленную из нержавеющей стали, устанавливается сборка. В прямоугольный паз радиатора 2, изготовленного из дюралюминия, вставляется элемент Пельтье 3, на который
10 устанавливается диэлектрический сужающийся канал 4, закрепленный с помощью мягких силиконовых шайб 5, прижимной металлической арки 6 с центрирующим пазом и четырех крепежных винтов 7. Диэлектрический сужающийся канал 4 длиной 35 мм с диаметрами входа и выхода 0.9 мм и 0.2 мм соответственно, изготовлен из боросиликатного стекла. Пучок электронов с энергией 10 кэВ проходит через
15 диэлектрический сужающийся канал 4 и на выходе с помощью цилиндра Фарадея измеряется плотность тока пучка. В течение первых 5 минут работы диэлектрический сужающийся канал 4 заряжается, затем его работа стабилизируется и плотность тока пучка, прошедшего через канал, превышает первоначальную плотность пучка приблизительно в четыре раза. Через 10 минут непрерывной работы характеристики
20 прошедшего пучка, а именно, величина тока и энергия, начинают ухудшаться. На элемент Пельтье 3 подается напряжение 6 В для охлаждения диэлектрического сужающегося канала 4 и в течение трех минут характеристики прошедшего пучка восстанавливаются до первоначальных. Затем диэлектрический сужающийся канал 4 продолжает работать с неизменными характеристиками еще пять минут. Данную
25 операцию повторили еще два раза, чтобы увеличить время проведения эксперимента.

Предлагаемое устройство может быть использовано при проведении научных исследований твердых тел, биологических объектов, в медицинских целях, в области электронной микроскопии и литографии.

30 (57) Формула полезной модели

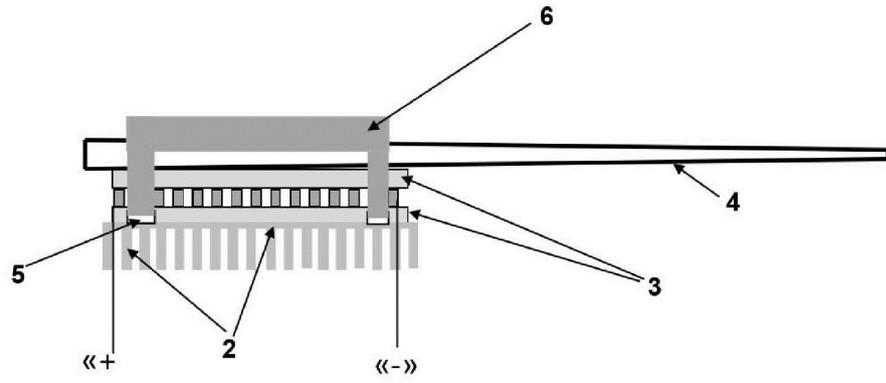
Устройство для управляемого увеличения плотности тока пучка заряженных частиц с помощью диэлектрических сужающихся каналов, содержащее диэлектрический сужающийся канал, установленный на платформе в вакуумной камере, отличающееся тем, что платформа выполнена в виде элемента Пельтье, вставленного в паз радиатора
35 с возможностью осуществления ею управления увеличением плотности тока пучка, прошедшего через диэлектрический сужающийся канал, кроме того, диэлектрический сужающийся канал с элементом Пельтье прижаты к радиатору с помощью прижимной арки с центрирующим треугольным пазом посредством четырех крепежных винтов и четырех мягких силиконовых шайб, обеспечивающих безопасное крепление
40 диэлектрического сужающегося канала.

1

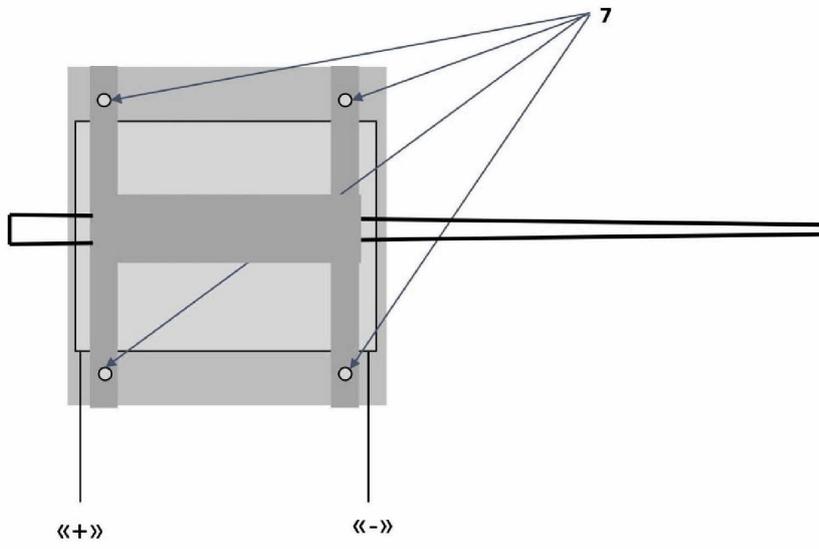


Фиг.1

2



Фиг.2



Фиг.3