

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2017115813, 04.05.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
04.05.2017Дата регистрации:  
06.12.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.05.2017

(45) Опубликовано: 06.12.2017 Бюл. № 34

Адрес для переписки:

308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.  
Победы, 85, НИУ "БелГУ", ОИС, Цуриковой  
Н.Д.

(72) Автор(ы):

Олейник Андрей Николаевич (RU),  
Кубанкин Александр Сергеевич (RU),  
Щагин Александр Васильевич (UA),  
Каплий Анна Андреевна (UA)

(73) Патентообладатель(и):

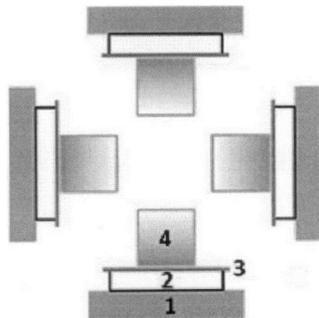
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 156716 U1, 10.11.2015. SU  
190503 A1, 20.02.1969. RU 113859 U1,  
27.02.2012. CN 204667895 U, 23.09.2015.

(54) Пирозлектрическая квадрупольная линза

(57) Реферат:

Полезная модель пирозлектрическая квадрупольная линза относится к электронной оптике и может быть использована для фокусировки пучков заряженных частиц (электронов, ионов, протонов, позитронов) в различной ускорительной технике: медицинских ускорителях, устройствах досмотрового контроля, в исследовательских ускорителях, таких как коллайдеры, синхротроны и т.д. Линза содержит четыре модуля, которые расположены друг напротив друга попарно, таким образом, что одна пара модулей перпендикулярна другой.

Каждый из модулей содержит пирозлектрический кристалл, элемент Пельтье и два теплопровода. Питание всех элементов Пельтье осуществляется параллельно одним источником напряжения. Предлагаемое устройство может использоваться в устройствах с применением пучков заряженных частиц и удобно использовать в системах с пучками низких энергий, где применение электростатического поля наиболее удобно, кроме того найдет применение в процессах ионной имплантации, например, в медицинских ускорителях. 2 ил.



Фиг. 2

Полезная модель относится к электронной оптике и может быть использована для фокусировки пучков заряженных частиц (электронов, ионов, протонов, позитронов) в различной ускорительной технике: медицинских ускорителях, устройствах досмотрового контроля, в исследовательских ускорителях, таких как коллайдеры, синхротроны и т. д.

Известно устройство для фокусировки пучка заряженных частиц под названием «Магнитная квадрупольная фокусирующая система», описанное в патенте US № 2883569А (публ. 24.01.1956 г.). Принцип работы устройства заключается в применении магнитного поля для фокусировки пучка заряженных частиц. Четыре постоянных магнита располагаются попарно друг напротив друга в определенной полярности, обе пары перпендикулярны друг относительно друга. При прохождении пучка заряженных частиц в пространстве между магнитами происходит фокусировка, т.е. уменьшение поперечных размеров пучка за счет действия магнитного поля линзы.

Другое известное устройство называется «Магнитная линза» и описано в патенте SU № 572859 (публ. 07.03.1975 г.). Это устройство включает два кольцевых магнита, которые расположены соосно и поворачиваются друг относительно друга. Каждый магнит имеет четное количество разноименных полюсов, расположенных друг напротив друга, что позволяет использовать устройство как квадрупольную магнитную линзу с четырьмя полюсами.

Также известно техническое решение под названием «Квадрупольная магнитная линза», описанное в патенте SU № 341184 (публ. 19.03.1970 г.). Данная линза предусматривает такую намотку, изменение силы тока в которой, позволяет изменять величину фокусирующего магнитного поля.

Общими недостатками систем использующих магнитные поля являются их большие размеры и сложность изготовления.

Для фокусировки пучков заряженных частиц, особенно пучков низкой энергии до 100 кэВ, кроме магнитного поля, известно применение электростатического поля, которое генерируется путем подачи электрического потенциала нужной полярности на электроды.

Одним из таких устройств является «Электростатическая линза», описанная в патенте US № 2919381 А (публ. 25.07.1956 г.). В этом патенте предлагается использовать две коаксиальные электростатические линзы для более эффективной фокусировки пучка заряженных частиц. Другой пример устройства похожей конструкции и назначения – «Квадрупольная электростатическая линза», описан в патенте SU № 505054 (публ. 20.03.1974 г.).

Общим недостатком устройств, использующих электростатическое поле, является необходимость в стабильных энергозатратных источниках высокого напряжения, что делает подобные системы малоприменимыми для пучков высоких энергий.

Другой, гораздо менее энергозатратный способ получения сильного электростатического поля без энергозатратных внешних источников – это применение пироэлектрического эффекта. Этот эффект заключается в генерации сильного электрического поля при изменении температуры кристаллов, таких как танталат лития или ниобата лития, в вакууме, что способствует индукции заряда на гранях, непараллельных оси поляризации кристалла.

Наиболее близким к предлагаемой полезной модели является техническое решение «Пироэлектрический дефлектор пучка заряженных частиц», описанное в патенте RU № 156716 (публ. 19.10.2015 г.), которое предназначено для управления пучком заряженных частиц в широком диапазоне его энергии. Устройство состоит из двух

компактных модулей, расположенных друг напротив друга на расстоянии, определяемом поперечным размером управляемого пучка. Каждый модуль содержит пирозлектрический кристалл, элемент Пельтье для изменения температуры кристалла, кронштейн-теплопровод для отвода избыточного тепла от элемента Пельтье и теплопровод для отвода тепла от кристалла. При синхронном изменении температур кристаллов между модулями образуется постоянное электростатическое поле, с помощью которого осуществляется управление пучком заряженных частиц.

Недостатком данной полезной модели является возможность управления пучком только в одном направлении, что не позволяет осуществлять фокусировку пучка заряженных частиц.

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое техническое решение, является создание устройства, позволяющего фокусировать пучки заряженных частиц при помощи электростатического поля, генерация которого осуществляется за счет пирозлектрического эффекта.

Поставленная задача решается с помощью предлагаемого устройства – пирозлектрической квадрупольной линзы, которая содержит два модуля, расположенные друг напротив друга на расстоянии, определяемом поперечным размером пучка, каждый из модулей содержит пирозлектрический кристалл, элемент Пельтье и два теплопровода, причем, устройство дополнительно включает еще два модуля, которые также расположены друг напротив друга попарно, таким образом, что одна пара модулей перпендикулярна другой, кроме того, питание всех элементов Пельтье осуществляется параллельно одним источником напряжения.

Указанная совокупность существенных признаков обеспечивает решение поставленной задачи таким образом, что при параллельной подаче питания на элементы Пельтье всех четырех модулей, осуществляется изменение температуры четырех пирозлектрических кристаллов на одинаковую величину, что способствует генерации электрического поля, с помощью которого осуществляется фокусировка пучка заряженных частиц.

Предлагаемое устройство отличается от прототипа, наличием дополнительной пары модулей, позволяющей оказывать влияние на пучок заряженных частиц в направлении перпендикулярном к направлению влияния другой пары модуля, тем самым позволяя осуществлять фокусировку пучка заряженных частиц.

Преимущество предлагаемого устройства заключается в фокусировке пучка заряженных частиц при гораздо меньших энергозатратах, чем в других устройствах, использующих электрическое или магнитное поле для решения технической задачи.

Технический результат предлагаемой полезной модели заключается в фокусировке пучка заряженных частиц при помощи электростатического поля, генерируемого при изменении температуры пирозлектрических кристаллов, расположенных попарно друг напротив друга, причем одна пара перпендикулярна другой.

Полезная модель поясняется чертежами.

Фиг. 1 - схема отдельного модуля устройства.

Фиг. 2 - функциональная схема устройства.

Устройство состоит из четырех модулей, которые разделены на две пары (Фиг. 2). В каждой паре модули расположены друг напротив друга, при этом одна пара модулей перпендикулярна другой. В состав каждого модуля входит: теплопровод 1, элемент Пельтье 2, теплопровод 3 и пирозлектрический кристалл 4 (Фиг. 1).

Пирозлектрический кристалл 4, например, ниобат лития ( $\text{LiNbO}_3$ ) или танталат лития ( $\text{LiTaO}_3$ ) представляет собой цилиндр, высотой и диаметром около 10 мм.

Пироэлектрический кристалл 4 крепится к теплопроводу 3 с помощью электропроводящего клея. Теплопровод 3, расположенный между пироэлектрическим кристаллом 4 и элементом Пельтье 2, представляет собой пластину, например, из меди или дюралюминия толщиной не более 1.5 - 2 мм, с площадью поверхности большей, чем площадь поверхности элемента Пельтье 2. Теплопровод 3 должен быть обязательно заземлен и выполнен из меди или алюминия, а его геометрия зависит от конструкции устройства, в котором оно будет применяться. Конструкция теплопровода 3 также зависит от формы пироэлектрического кристалла 4, так как через него осуществляется перенос тепла между элементом Пельтье 2 и пироэлектрическим кристаллом 4. Элемент Пельтье 2 соединен с теплопроводом 1 с помощью теплопроводящего клея и осуществляет изменение температуры пироэлектрического кристалла 4. Конструкция теплопровода 1, осуществляющего отвод избыточного тепла от пироэлектрического кристалла 4, зависит от конкретного применения устройства, от конструкции ускорителя или иного устройства, где распространяется пучок заряженных частиц.

Работает устройство в условиях вакуума при давлении остаточного газа  $10^{-5}$  Торр и ниже. Для фокусировки пучка заряженных частиц подается питание на элементы Пельтье 2, входящие в состав пары модулей. Благодаря эффекту Пельтье, температура пироэлектрических кристаллов 4 изменяется. При этом, за счет пироэлектрического эффекта, на поверхностях пироэлектрических кристаллов 4, образуются одинаковые по знаку заряды, которые являются источниками электрического поля. Фокусировка пучка осуществляется суммарным электрическим полем, которое заставляет, частицы пучка изменять направление движения в сторону оси пучка. Тепло, выделяющееся с противоположной стороны к теплопроводу 3 и пироэлектрическому кристаллу 4, нагреваемой стороны элемента Пельтье 2, поглощается теплопроводом 1. Изменение температуры пироэлектрического кристалла 4 осуществляется соответствующим элементом Пельтье 2. Величина изменения температуры пироэлектрического кристалла 4 зависит от формы, энергии, тока пучка, а также его структуры (непрерывный пучок или есть временная структура). В случае аксиально-симметричного пучка, величина изменения температуры каждого пироэлектрического кристалла 4 должна быть одинакова, в случае же асимметричной поперечной пространственной структуры пучка величина изменения температуры на каждом пироэлектрическом кристалле 4 определяется степенью поперечной асимметрии пучка. Важным условием для работы устройства является ориентация векторов поляризации кристаллов в противоположные стороны в каждой паре модулей. Выполнение этого условия позволяет изменять температуру пироэлектрических кристаллов 4 в одну сторону, либо нагревая, либо охлаждая их. Крепление устройства зависит от конкретного применения. В случае изменения температуры пироэлектрических кристаллов 4 только одной пары модулей сохраняется возможность управления пучком заряженных частиц.

Примеры конкретного использования

Для осуществления работы пироэлектрической квадрупольной линзы использовались пироэлектрические кристаллы 4 танталата лития следующих размеров: диаметр – 20 мм, высота – 10 мм, а расстояние между пироэлектрическими кристаллами 4 в каждой паре 10 мм. Элемент Пельтье 2 размером  $(25 \times 25)$  мм<sup>2</sup> с выделяемой мощностью 15 Вт. Теплопровод 3, расположенный между пироэлектрическим кристаллом 4 и элементом Пельтье 2, представляет собой пластину из меди толщиной 1.5 мм. А теплопровод 1, прикрепленный к элементу Пельтье 2, изготовлен из меди в виде пластины толщиной 120 мм.

Пример 1

Для фокусировки симметричного пучка электронов круглого сечения с энергией 10 кэВ, током 1 нА, и диаметром пучка 2 мм в плоскости симметрии линзы на расстоянии 2 м от пироэлектрической линзы достаточно скорости изменения температуры на  $0.15^{\circ}\text{C}/\text{с}$  пироэлектрических кристаллов 4 при прохождении непрерывного пучка. В случае прохождения пучка с дискретной структурой скорость изменения температуры кристалла должна определяться скважностью пучка. Если отдельный банч пучка имеет продолжительность 100 нс, с периодом 250 нс, тогда источник питания должен обеспечивать скорость изменения температуры пироэлектрических кристаллов  $0.06^{\circ}\text{C}/\text{с}$ .

#### Пример 2

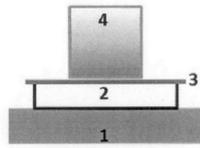
Для фокусировки непрерывного пучка электронов с энергией 30 кэВ, током 1 нА, с размером пучка 2 мм в плоскости первой пары модулей, и размером 0.5 мм в плоскости второй пары модулей на расстоянии 5 м от пироэлектрической линзы достаточно скорости изменения температуры на  $0.17^{\circ}\text{C}/\text{с}$  пироэлектрических кристаллов 4 первой пары модулей и  $0.05^{\circ}\text{C}/\text{с}$  для второй пары модулей.

Предлагаемое устройство может использоваться в устройствах с применением пучков заряженных частиц и удобно использовать в системах с пучками низких энергий, где применение электростатического поля наиболее удобно. Например, для фокусировки электронных пучков низких энергии, применяемых при изготовлении электронных микросхем или в электронной микроскопии, обеспечивая высокое разрешение, что в свою очередь позволяет использовать такие пучки как инструмент наблюдения наноструктур. Также описанное устройство найдет применение в процессах ионной имплантации, например, в медицинских ускорителях, где необходимы сфокусированные пучки ионов, когда очень важно доставить пучок непосредственно в нужную область или при создании модифицированных поверхностей различных инструментов.

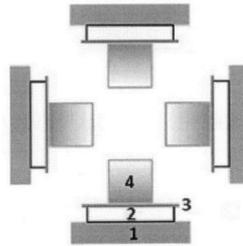
#### (57) Формула полезной модели

Пироэлектрическая квадрупольная линза, содержащая два модуля, расположенных друг напротив друга на расстоянии, определяемом поперечным размером пучка, каждый из модулей содержит пироэлектрический кристалл, элемент Пельтье и два теплопровода, отличающаяся тем, что дополнительно включает еще два модуля, причем модули расположены друг напротив друга попарно, таким образом, что одна пара модулей перпендикулярна другой, кроме того, питание всех элементов Пельтье осуществляется параллельно одним источником напряжения.

Пирозлектрическая квадрупольная линза



Фиг. 1



Фиг. 2