



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016126061, 29.06.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.06.2016Дата регистрации:
15.02.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.06.2016

(45) Опубликовано: 15.02.2017 Бюл. № 5

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

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

(73) Патентообладатель(и):

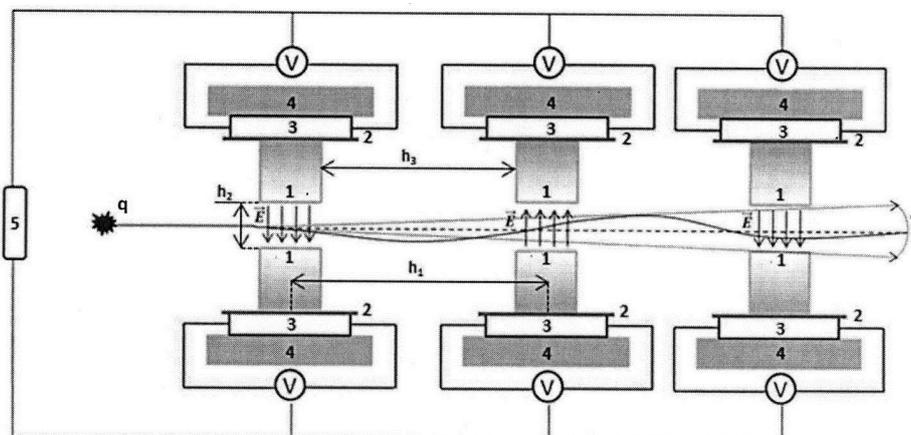
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 156716 U1, 10.11.2015. RU
2462009 C1, 20.09.2012. US 20080231215 A1,
25.09.2008. WO 2013112226 A2, 01.08.2013. US
20130099881 A1, 25.04.2013.

(54) Пирозлектрический ондулятор

(57) Реферат:

Использование: для получения электромагнитного излучения. Сущность полезной модели заключается в том, что пирозлектрический ондулятор содержит компактные модули, расположенные друг напротив друга, каждый из которых включает в себя пирозлектрический кристалл, теплопровод, элемент Пельтье и радиатор, кроме этого

пирозлектрический ондулятор содержит более чем две пары компактных модулей и дополнительно включает синхронизатор питания используемых элементов Пельтье. Технический результат: обеспечение возможности генерации коллимированного когерентного электромагнитного излучения со спектром, близким к квазимонохроматическому. 1 ил.



Фиг. 1

Полезная модель пироэлектрический ондулятор относится к технике ускорителей заряженных частиц, в частности к технике ускорительных устройств, предназначенных для получения электромагнитного излучения.

5 Традиционный электромагнитный ондулятор представляет собой цепочку из слабых близкорасположенных постоянных магнитов. При прохождении через эту систему, электронный пучок отклонялся слабыми магнитными полями в поперечном направлении, а траектория приобретала форму волны. Затем вдоль всей траектории движения испускается яркий и узкий пучок ондуляторного электромагнитного излучения. На таком принципе работы основан мощный электромагнитный ондулятор (US
10 №4761584А, опубл. 02.08.1988 г.). Устройство, описанное в данном патенте, представляет стандартную магнитную систему, которая обеспечивает необходимую траекторию пучка при прохождении внутри устройства.

На сегодняшний день известны многие устройства и технологии, направленные на модернизацию традиционного электромагнитного ондулятора.

15 Одним из таковых является устройство короткопериодного мини-ондулятора (US № 20130099881, опубл. 25.04.2013 г.). В работе рассматривается возможность использования в конструкции сверхпроводящих материалов, благодаря которым, при прохождении через устройство период колебания пучка будет значительно меньше, чем на устройствах применяющих стандартные постоянные магниты.

20 Известен короткопериодный ондулятор (EP № 2745649, опубл. 25.06.2014 г.). В данном решении предлагается использование электромагнитной стоячей волны в ондуляторе для генерации электромагнитного излучения в терагерцовом диапазоне.

Известен также поверхностный микромеханический микромагнитный ондулятор (US № 9247630, опубл. 26.01.2016 г.). В данной работе предлагается способ получения
25 ондулятора с коротким периодом структуры от 5 мкм до 5 мм.

Наиболее близким по исполнению к предлагаемому изобретению является пироэлектрический дефлектор пучка заряженных частиц (RU № 156716, опубл. 10.11.2015 г.). Конструкция описываемого технического решения представляет собой два компактных модуля, расположенных друг напротив друга. Каждый из модулей состоит
30 из пироэлектрического кристалла, элемента Пельтье, теплопровода и радиатора. Устройство предназначено для управления параметрами пучка заряженных частиц. Принцип работы прототипа основан на изменении величины и направления температурного градиента пироэлектрического кристалла, которые обуславливают генерацию сильного электрического поля, позволяющего управлять параметрами пучка
35 заряженных частиц.

К общим недостаткам аналогов и прототипа следует отнести большие габариты стандартных электромагнитных ондуляторов, энергозатратность их систем питания, короткий период воздействия электрического поля на пучок заряженных частиц, ограниченный только пространством между кристаллами, а также инерционность
40 смены полярности заряда на поверхности кристалла при смене температурной фазы.

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое техническое решение, является создание устройства предназначенного для генерации когерентного электромагнитного излучения при извилистом движении пучка заряженных частиц в пространстве между парами пироэлектрических кристаллов.

45 Поставленная задача решается с помощью предлагаемого пироэлектрического ондулятора, который содержит компактные модули, расположенные друг напротив друга, каждый из которых включает в себя пироэлектрический кристалл, теплопровод, элемент Пельтье и радиатор, причем пироэлектрический ондулятор содержит более

чем две пары компактных модулей и дополнительно включает синхронизатор питания используемых элементов Пельтье.

Предлагаемое устройство отличается от пироэлектрического дефлектора пучка заряженных частиц, описанного в прототипе (RU №156716, опубл. 10.11.2015 г.), тем, что содержит большее количество пар компактных модулей, а также дополнительно включает синхронизатор полярности питания элемента Пельтье.

Преимущество предлагаемого изобретения заключается в возможности получения электромагнитного квазимонохроматического излучения в узком угловом диапазоне до 100 мрад, а также в энергетическом диапазоне от 1 нм до 10 мкм с помощью предлагаемого малогабаритного устройства, в котором применяются пироэлектрические кристаллы для решения поставленной задачи.

При этом не используются сложные и дорогостоящие системы генерации стоячих электромагнитных волн, как в короткопериодном ондуляторе (EP №2745649), или громоздкие магниты, как в мощном электромагнитном ондуляторе (US №4761584A).

Технический результат заключается в генерации коллимированного когерентного электромагнитного излучения со спектром, близким к квазимонохроматическому. Это достигается посредством извилистого движения, близкого к синусоиде, ультрарелятивистского пучка заряженных частиц в электрическом поле, генерирующемся в промежутке между пироэлектрическими кристаллами при изменении их температуры.

Полезная модель поясняется чертежом.

Фиг. 1 - Общий вид полезной модели.

Устройство состоит из более чем двух пар модулей. Модули расположены друг напротив друга. В состав каждого модуля входит: пироэлектрический кристалл - 1, теплопровод - 2, элемент Пельтье - 3, радиатор - 4 и синхронизатор - 5.

Пироэлектрический кристалл 1, такой как, например LiNbO_3 (ниобат лития), изготовлен в форме цилиндра. Характерный размер пироэлектрического кристалла 1 - 1 см. Теплопровод 2 представляет собой пластину, например, из меди или дюралюминия, прикрепленную с помощью электропроводящего клея между пироэлектрическим кристаллом 1 и элементом Пельтье 3. Толщина теплопровода 2 не должна превышать 1.5 - 2 мм, а площадь его поверхности должна быть больше, чем площадь поверхности элемента Пельтье 3. Это требуется для оптимального терморегулирования пироэлектрического кристалла 1. Также теплопровод 2 должен быть обязательно заземлен. Элемент Пельтье 3 - устройство, позволяющее изменять температуру пироэлектрического кристалла 1. Элемент Пельтье 3 соединен с радиатором 4 с помощью теплопроводящего клея. Радиатор 4 выполнен из меди или алюминия, а его геометрия зависит от конструкции устройства, в котором подразумевается его применение. Радиатор 4 предназначен для отвода лишнего тепла от элемента Пельтье 3, тем самым обеспечивая нормальный температурный режим работы устройства. Синхронизатор 5 - управляющая электронная схема, которая обеспечивает питание всех элементов Пельтье 3 и тем самым поддерживает необходимый режим изменения температуры пироэлектрического кристалла 1 в каждом из модулей устройства.

Для обеспечения работы устройства минимальное количество пар модулей должно составлять не менее двух, а максимальное количество пар не ограничено и определяется конкретной спецификой поставленной задачи. Все пироэлектрические кристаллы 1, из которых состоит устройство, должны быть одинакового размера и напряжение, подаваемое на элемент Пельтье 3, должно быть одинаково по модулю для всего устройства. Допускается, что отличаться по размеру и величине подаваемого напряжения могут только пироэлектрические кристаллы 1, составляющие первую пару

модулей, расположенную на входе устройства, так как перед этой парой пучок движется по прямолинейной траектории и осуществляет первичное отклонение пучка заряженных частиц. Остальные пары пироэлектрических кристаллов 1 необходимы для поддержания извилистой траектории в определенном периоде.

5 Принцип работы полезной модели основан на периодическом искривлении траектории пучка ускоренных заряженных частиц в электрическом поле, которое генерируется двумя и более парами пироэлектрических кристаллов при изменении их температуры. Работает предлагаемое устройство в условиях вакуума при давлении остаточного газа 10^{-5} Торр и ниже. В общем случае, на каждый элемент Пельтье 3 пары модулей подается
10 напряжение равной величины и противоположной полярности. На рабочей поверхности каждого пироэлектрического кристалла 1 индуцируется электрический заряд. Полярность заряда зависит от ориентации вектора спонтанной поляризации пироэлектрического кристалла 1 и полярности подаваемого напряжения. Для работы устройства важно выполнение двух условий. Первое заключается в том, что поверхности
15 двух пироэлектрических кристаллов 1 в каждой паре должны быть заряжены разноименно, чтобы создавать поперечное отклоняющее электрическое поле. Второе - поля, создаваемые двумя соседними парами модулей в промежутке между пироэлектрическими кристаллами 1, должны иметь противоположную направленность по отношению друг к другу, чтобы обеспечить необходимую извилистую траекторию
20 пучка, близкую к синусоиде, при которой происходит генерация электромагнитного излучения. При этом пучок заряженных частиц входит прямолинейно в промежуток между пироэлектрическими кристаллами 1 первой пары - h_2 (Фиг.1) и начинает отклоняться в сторону относительно первоначальной траектории (противоположно
25 заряженной поверхности пироэлектрического кристалла 1, по отношению к полярности заряда пучка). В промежутке между пироэлектрическими кристаллами 1 первой и второй пары пучок заряженных частиц усиливает свое отклонение, а затем под действием электрического поля второй пары, отклоняется в противоположную сторону. Далее, подобное извилистое, близкое к синусоиде, движение пучка продолжается и между
30 последующими парами и в промежутках между ними.

Для получения требуемых характеристик электромагнитного излучения необходимо обеспечить стабильное извилистое движение пучка заряженных частиц внутри предлагаемого пироэлектрического ондулятора при этом, не касаясь поверхности
35 пироэлектрических кристаллов 1 пучком заряженных частиц. Возможны два варианта обеспечения стабильного извилистого движения пучка заряженных частиц. В первом варианте, подразумевающим равенство размеров всех пироэлектрических кристаллов 1, в предлагаемом пироэлектрическом ондуляторе необходимо, чтобы напряжение, подаваемое на элементы Пельтье 3 первой пары, было в два раза меньше, чем
40 напряжение, подаваемое на элементы Пельтье 3 последующих пар. Во втором варианте, когда обеспечено равенство напряжения, подаваемого на все элементы Пельтье 3 устройства, необходимо, чтобы рабочая поверхность пироэлектрических кристаллов 1 в первой паре была в два раза меньше, чем поверхность пироэлектрических кристаллов 1 в других парах.

Если все же касание пучка при продолжительной работе устройства неизбежно или
45 дальнейшее изменение температуры в определенную сторону не представляется возможным, полярность напряжения на всех элементах Пельтье 3 меняется при помощи синхронизатора 5, предусмотренного в предлагаемой полезной модели. При этом геометрия генерации фотонов остается неизменной. При такой извилистой траектории ультрарелятивистского пучка заряженных частиц, близкой к синусоиде, происходит

излучение фотонов в узкий конус вдоль оси движения пучка. Далее, после прохождения через пироэлектрический ондулятор пучок может отклоняться в сторону с помощью магнитной оптики, а распространяющийся поток фотонов использоваться в зависимости от постановки задачи.

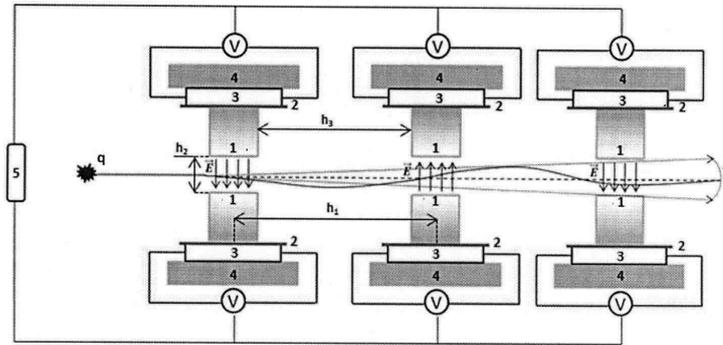
5 В качестве примера осуществления работы пироэлектрического ондулятора рассматривается распространяющийся в устройстве пучок электронов с энергией 10 ГэВ. Пироэлектрический ондулятор имеет период $1 \text{ см} - h_1$ (Фиг.1) (расстояние между
10 двумя идентичными точками соседних пар модулей). Диаметр пироэлектрического кристалла 1, такого как LiTaO_3 , равен 8 мм. Высота пироэлектрического кристалла 1 составляет 10 мм. Промежуток между кристаллами 1 в паре равен $8 \text{ мм} - h_2$ (Фиг.1), а промежуток между кристаллами 1 соседних пар - $8 \text{ мм} - h_3$ (Фиг.1). Всего в устройстве 100 пар модулей. Теплопровод 2 представляет собой квадратную пластину толщиной 0.5 мм и длиной 12 мм, изготовленную из меди и прикрепленную к поверхности
15 пироэлектрического кристалла 1 с помощью электропроводящего клея. Элемент Пельтье 3 имеет один ярус, размер пластины составляет $12*12 \text{ мм}$. Радиатор 4 представляет собой параллелепипед с размерами $70*70*70 \text{ мм}$, изготовленный из дюралюминия Д16Т и прикрепленный к поверхности элемента Пельтье с помощью теплопроводящего клея. Для получения электромагнитного излучения с частотой 1 эВ или длиной волны 1 нм
20 (диапазон мягкого рентгеновского излучения) вдоль оси движения электронного пучка скорость изменения температуры каждого кристалла составляла около $1.3^\circ\text{C}/\text{сек}$. При этой скорости изменения температуры пучок отклоняется на 0.025° от первоначальной траектории в каждой паре, что приводит к генерации электромагнитного излучения вдоль траектории движения в узком конусе с углом раствора 0.3. Для обеспечения
25 такого режима работы устройства на все элементы Пельтье 3 (кроме элементов Пельтье 3 первой пары модулей) подавалась электрическая мощность 10 Вт. А для поддержания стабильного извилистого движения пучка заряженных частиц внутри пироэлектрического ондулятора, не касаясь поверхности пироэлектрических кристаллов 1, выполнялось условие равенства размеров всех пироэлектрических кристаллов 1, при
30 этом подаваемое напряжение было снижено в два раза и составляло 5 Вт. Синхронное изменение температуры пироэлектрических кристаллов 1 обеспечивалось синхронизатором 5, позволяющим изменять значение и полярность напряжения, подаваемого на элементы Пельтье 3.

Исходя из всего вышеописанного применение предлагаемого устройства возможно
35 в источниках синхротронного излучения, ускорителях заряженных частиц различного назначения (исследование различных структур, радиационная терапия, диагностика) для получения ондуляторного излучения. Дополнительно предлагаемое устройство, может применяться для управления пучком заряженных частиц.

40 (57) Формула полезной модели

Пироэлектрический ондулятор, содержащий компактные модули, расположенные друг напротив друга, каждый из которых включает в себя пироэлектрический кристалл, теплопровод, элемент Пельтье и радиатор, отличающийся тем, что содержит более чем две пары компактных модулей и, кроме того, дополнительно включает синхронизатор
45 питания используемых элементов Пельтье.

Пирозлектрический ондулятор



Фиг. 1