



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H01J 35/02 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2018122447, 20.06.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.06.2018

Дата регистрации:
01.11.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.06.2018

(45) Опубликовано: 01.11.2018 Бюл. № 31

Адрес для переписки:

308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.
Победа, 85, НИУ "БелГУ", Цириковой Н.Д.

(72) Автор(ы):

Олейник Андрей Николаевич (RU),
Каратаев Павел Владимирович (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: D.J. Gillich and et.al., Enhanced
pyroelectric crystal D—D nuclear fusion using
tungsten nanorods, Nano Today (2009) 4,
227—234; WO 2014069530 A1, 08.05.2014. CN
1287378 A, 14.03.2001. RU 177198 U1,
13.02.2018. RU 2136017 C1, 27.08.1999. RU
169040 U1, 02.03.2017.

(54) Пироэлектрический источник рентгеновского излучения

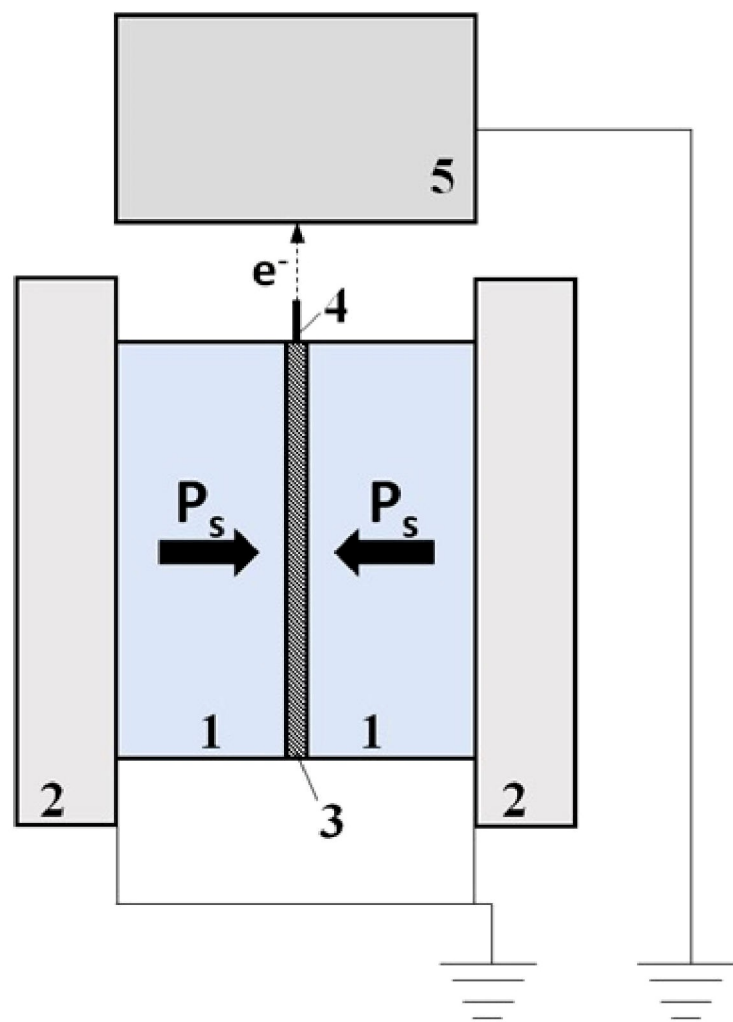
(57) Реферат:

Использование: для генерации рентгеновского
излучения. Сущность изобретения заключается
в том, что устройство содержит два модуля,
каждый из которых состоит из
пироэлектрического кристалла и элемента
Пельтье, а также включает мишень.

Пироэлектрические кристаллы соединены между
собой с помощью тонкой металлической фольги
с припаянной к ней иглой, напротив которой
отдельно установлена мишень. Технический
результат: увеличение интенсивности
рентгеновского излучения. 1 ил.

RU
184642
U1

RU
184642
U1



Фиг. 1

Полезная модель относится к источникам ионизирующего излучения и может быть использована для генерации рентгеновского излучения и найдет применение в рентгенографии и рентгеноскопии, рентгенотерапии, рентгеновской дефектоскопии, рентгеноструктурном и рентгенофлуоресцентном анализе.

5 Наиболее распространённый и традиционный способ генерации рентгеновского излучения – это рентгеновские трубки, описанные в патентах «Рентгеновская трубка» (US № 4993055A, публ. 23.11.1988 г) и «Рентгеновская трубка с множеством мишеней» (US № 6973158B2, публ. 25.06.2003 г.). Принцип работы таких устройств основан на конструкции «катод – анод», в которой катод находится под действием высокого отрицательного напряжения или нагревается до температуры, при которой возможна термоэлектронная эмиссия, а анод либо заземлен, либо находится под положительным потенциалом. Электроны, эмитированные с поверхности катода, ускоряются на анод и при торможении в нем, генерируют рентгеновское излучение.

15 Также известны пироэлектрические источники рентгеновского излучения, принцип работы которых основан на применении пироэлектрического эффекта в кристаллах танталата (LiTaO_3) или ниобата лития (LiNbO_3). Средняя интенсивность рентгеновского излучения пироэлектрического источника составляет 10^6 (в отдельных случаях – 10^7) квантов в секунду. Одно из таких устройств описано в патенте под названием «Рентгеновская трубка» (US № 3840748 А, публ. 08.10.1974 г.). В описанном устройстве, генерация рентгеновского излучения осуществляется путем изменения температуры пироэлектрических кристаллов ниобата или танталата лития в вакууме. В результате изменения температуры на поверхности пироэлектрического кристалла индуцируется заряд, который является источником сильного электрического поля, способного вызвать эмиссию электронов с поверхности пироэлектрического кристалла и их ускорение в расположенный рядом заземленный проводник, что и приводит к генерации рентгеновского излучения, по тому же механизму, как и в рентгеновских трубках.

25 Недостатком рентгеновских трубок является необходимость внешнего источника высокого напряжения, который ограничивает возможность компактного исполнения устройства. Использование известных пироэлектрических источников позволяет устранить эти недостатки, однако интенсивность излучения и стабильность пироэлектрического источника уступают аналогичным характеристикам стандартных рентгеновских трубок.

35 Предлагаемое устройство наиболее близко к пироэлектрическому генератору нейтронов и рентгеновского излучения, который описан в работе D.J. Gillich and et.al. “Enhanced pyroelectric crystal D—D nuclear fusion using tungsten nanorods”, Nano Today (2009) 4, 227—234. Данное устройство содержит два модуля, каждый из которых состоит из пироэлектрического кристалла и элемента Пельтье. Модули расположены друг от друга на расстоянии 20-30 мм, причем на поверхности одного из кристаллов нанесено множество вольфрамовых наноигол, а на поверхности другого - покрытие из дейтерия, выполняющее функцию мишени. С помощью элементов Пельтье изменяется температура каждого кристалла и в пространстве между ними возникает сильное электрическое поле, в котором происходит генерация ионов вблизи наноигол, их ускорение к поверхности другого кристалла, торможение в дейтерированном покрытии и генерация нейтронов и рентгеновского излучения.

45 Недостатком данного технического решения является необходимость в промежутке между двумя поверхностями пироэлектрических кристаллов для генерации и ускорения ионов или электронов. При такой конфигурации только часть заряда, генерируемого при пироэлектрическом эффекте, используется для генерации ускоренных заряженных

частиц, которые при торможении в мишени приводят к генерации рентгеновского излучения. При этом, большая часть заряда остается распределенной на наноиглах и дейтерированном покрытии.

5 Задачей, на решение которой направлено предлагаемого технического решение, является создание устройства, позволяющего генерировать рентгеновское излучение повышенной интенсивности при помощи электрического поля, генерация которого осуществляется за счет пирозлектрического эффекта.

Поставленная задача решается с помощью предлагаемого устройства –пирозлектрического источника рентгеновского излучения, который содержит два
10 модуля, каждый из которых состоит из пирозлектрического кристалла и элемента Пельтье, причем пирозлектрические кристаллы соединены между собой с помощью тонкой металлической фольги с припаянной к ней иглой, напротив которой, отдельно установлена мишень. Кроме того, при одновременном нагреве или охлаждении пирозлектрических кристаллов на поверхностях, соприкасающихся с металлической
15 фольгой с иглой, генерируется отрицательный заряд.

Предлагаемое техническое решение отличается от прототипа, описанного в работе D.J. Gillich and et.al. “ Enhanced pyroelectric crystal D—D nuclear fusion using tungsten
nanorods”, Nano Today (2009) 4, 227—234 отсутствием свободного пространства между пирозлектрическими кристаллами. В предлагаемом устройстве пирозлектрические
20 кристаллы соединены между собой с помощью тонкой металлической фольги с иглой, которая припаяна к ее торцу, обращенному к мишени. Это позволяет использовать весь генерируемый заряд с обеих поверхностей пирозлектрического кристалла для испускания и ускорения электронов, тем самым обеспечивая повышенную интенсивность генерации электронов, следовательно, и рентгеновского излучения. Кроме того,
25 предлагаемое устройство отличается наличием отдельной мишени, расположенной напротив иглы.

Преимущество предлагаемого устройства заключается в повышенном токе заряженных частиц, и как следствие, в повышенном выходе рентгеновского излучения по сравнению с прототипом и другими подобными источниками при сопоставимом
30 изменении температуры пирозлектрических кристаллов. Это достигается за счет эффективного использования обеих поверхностей кристалла на которых генерируется заряд.

Технический результат предлагаемой полезной модели заключается в увеличении интенсивности рентгеновского излучения, генерируемого при изменении температуры пирозлектрических кристаллов, которые соединены между собой через металлическую
35 фольгу с иглой, с которой происходит испускание электронов, их ускорение и торможение в мишени, приводящее к генерации рентгеновского излучения.

Предлагаемое устройство представлено чертежом.

Фиг. 1 – общий вид устройства.

40 Устройство (Фиг. 1) состоит из двух модулей, каждый из которых содержит пирозлектрический кристалл 1 и элемент Пельтье 2. Модули расположены друг напротив друга и соединены металлической фольгой 3 с припаянной к ней иглой 4, напротив которой установлена мишень 5.

Пирозлектрические кристаллы 1 представляют собой кристаллы изготовленные из пирозлектрического материала цилиндрической или кубической формы. Элемент Пельтье 2 – устройство, позволяющее изменять температуру пирозлектрических кристаллов 1. Площади поверхности используемых элементов Пельтье 2 должны быть не меньше площади поверхности пирозлектрических кристаллов 1. Металлическая

фольга 3, расположенная между кристаллами должна полностью покрывать всю площадь поверхности пьезоэлектрических кристаллов 1. Соединение пьезоэлектрических кристаллов 1 с элементами Пельтье 2 и металлической фольгой 3 осуществляется с помощью тепло- и электропроводящего клея. Полярные поверхности пьезоэлектрических кристаллов 1, обращенные к элементу Пельтье 2 должны быть заземлены. Игла 4, припаивается к торцу металлической фольги 3, обращенному к мишени 5. Мишень 5, расположенная напротив иглы 4, представляет собой металлическую пластину или фольгу, которая должна быть обязательно заземлена.

Работает устройство в условиях вакуума при давлении остаточного газа от 10^{-2} Торр и ниже. Одной из характеристик пьезоэлектрического кристалла 1 является вектор спонтанной поляризации P_s , который указывает на поверхность кристалла, где индуцируется заряд. В зависимости от ориентации вектора спонтанной поляризации P_s возможны два варианта работы устройства.

Работа устройства осуществляется следующим образом.

Вариант 1- векторы спонтанной поляризации P_s пьезоэлектрических кристаллов 1 направлены навстречу друг другу (Фиг. 1). Пьезоэлектрические кристаллы 1 охлаждаются с помощью пары элементов Пельтье 2 в результате чего, на полярных поверхностях, обращенных к фольге 3, генерируется электрический заряд отрицательной полярности за счет пьезоэлектрического эффекта. Электрический заряд собирается с обеих поверхностей пьезоэлектрических кристаллов 1 на металлическую фольгу 3 и распространяется равномерно на иглу 4. Между заряженной иглой 4 и заземленной мишенью 5 возникает разность потенциалов в результате которой электроны (e^-) испускаются иглой 4 и ускоряются в сторону мишени 5. При торможении ускоренных электронов в мишени 5 генерируется тормозное и характеристическое рентгеновское излучение. После того как температура пьезоэлектрических кристаллов 1 достигнет минимально возможного значения, которое определяется параметрами элемента Пельтье 2, необходимо поддерживать значение температуры пьезоэлектрических кристаллов 1 до тех пор пока не прекратится генерация рентгеновского излучения. После пьезоэлектрические кристаллы 1 начинают нагреваться с помощью элементов Пельтье 2, при этом полярность заряда меняется на положительную и происходит компенсация остаточного отрицательного заряда, в результате чего металлическая фольга 3 и игла 4 заряжаются положительно. Между иглой 4 и заземленной мишенью 5 образуется разность потенциалов, под действием которой уже электроны с мишени 5 и свободные электроны из окружающего пространства летят на иглу 4, тем самым нейтрализуя положительный заряд и генерируя рентгеновское излучение при торможении в игле 4. Далее, после достижения первоначальной температуры пьезоэлектрический кристалл 1 начинает снова охлаждаться с помощью элементов Пельтье 2 и вышеописанные процессы повторяются.

Важно соблюдать следующее условие: скорость нагрева пьезоэлектрических кристаллов 1 должна быть выше скорости охлаждения пьезоэлектрических кристаллов 1. Это позволяет сократить время с пониженной интенсивностью генерации рентгеновского излучения.

Вариант 2 – векторы спонтанной поляризации P_s пьезоэлектрических кристаллов 1 направлены не навстречу друг другу, как показано на Фиг. 1, а в противоположные стороны. В данном случае, все процессы генерации отрицательного заряда и рентгеновского излучения в мишени 5 происходят при нагреве кристаллов, а процесс генерации положительного заряда при охлаждении. Также, при таком варианте работы

устройства меняется и условие: скорость охлаждения пирозлектрических кристаллов 1 должна быть выше скорости нагрева пирозлектрических кристаллов 1.

Пример.

В качестве примера осуществления работы устройства использовались
 5 пирозлектрические кристаллы 1 танталата лития высотой 10 мм и площадью полярной
 поверхности 400 мм^2 , причем векторы поляризации P_s направлены в противоположные
 друг от друга стороны (Вариант 2), элементы Пельтье 2 размером $20 \times 20 \text{ мм}$,
 металлическая фольга 3 выполнена из алюминия толщиной 100 мкм и площадью 400
 10 мм^2 , игла 4 изготовлена из вольфрама длиной 7 мм и диаметром наконечника около
 700 нм, а мишень 5 выполнена из медной фольги толщиной 500 мкм.

Для генерации тормозного и характеристического (K_α линия меди, L_α линия меди)
 рентгеновского излучения с энергией до 45 кэВ и общей интенсивностью 10^6 квантов
 15 в секунду соприкасающиеся с фольгой 3 поверхности пирозлектрических кристаллов
 1 были нагреты на 20°C с помощью элементов Пельтье 2. Это позволило генерировать
 с двух полярных поверхностей пирозлектрических кристаллов 1 около 3.5 мкКл заряда,
 стекающего на фольгу 3, что обеспечило испускание электронов с иглы 4 с током
 порядка 10 нА в течение 200-250 секунд и их ускорение в сторону мишени 5 (Фиг. 1).
 20 Когда процесс испускания электронов происходит при нагреве, согласно условию,
 охлаждение должно происходить быстрее, чем нагрев. Нагрев со скоростью $4^\circ \text{C}/\text{мин}$
 обеспечивает генерацию заряда около 0.7 мкКл в минуту и испускание электронов в
 течении 200-220 секунд при общем времени нагрева 300 секунд. При этом происходит
 генерация рентгеновского излучения с интенсивностью порядка 10^8 квантов в секунду.
 25 Охлаждение со скоростью $8^\circ \text{C}/\text{мин}$ позволило вернуться в исходное состояние за 150
 секунд, при этом генерация рентгеновского излучения была продолжена с той же
 интенсивностью порядка 10^8 квантов в секунду за счет бомбардировки электронами
 иглы 4 и торца металлической фольги 3. Полученный результат на порядок превосходит
 результаты используемых аналогичных устройств.

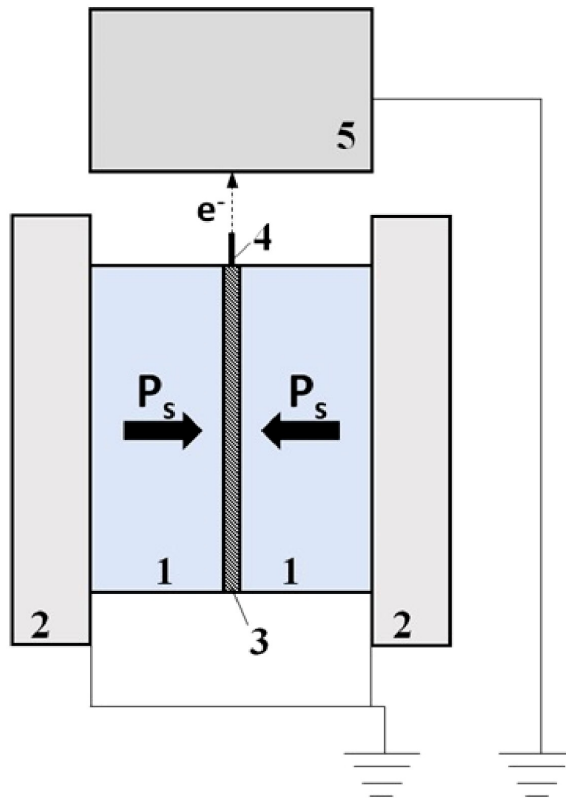
30 Предлагаемое устройство может применяться как малогабаритный и мобильный
 источник рентгеновского излучения для рентгенофлуоресцентного анализа, получения
 рентгеновских снимков, способный заменить традиционные рентгеновские трубки в
 нестандартных и экстремальных условиях.

35 (57) Формула полезной модели

Пирозлектрический источник рентгеновского излучения, содержащий два модуля,
 каждый из которых состоит из пирозлектрического кристалла и элемента Пельтье, а
 также включает мишень, отличающийся тем, что пирозлектрические кристаллы
 соединены между собой с помощью тонкой металлической фольги с припаянной к ней
 40 иглой, напротив которой отдельно установлена мишень.

45

**Пирозлектрический источник
рентгеновского излучения**



Фиг. 1