



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*H01J 35/02* (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2018114883, 23.04.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
23.04.2018

Дата регистрации:  
12.09.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.04.2018

(45) Опубликовано: 12.09.2018 Бюл. № 26

Адрес для переписки:  
308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.  
Победы, 85, Цуриковой Н.Д.

(72) Автор(ы):

Щагин Александр Васильевич (UA),  
Ивашук Олег Орестович (RU),  
Кубанкин Александр Сергеевич (RU),  
Каплий Анна Андреевна (UA),  
Кленин Артемий Александрович (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: US 3840708 A, 08.10.1974 A1. RU  
169040 U1, 02.03.2017. DE 10057072 A1,  
23.05.2001.

(54) Импульсный пироэлектрический ускоритель

(57) Реферат:

Полезная модель импульсный пироэлектрический ускоритель относится к области рентгеновской техники и может быть использована для генерации рентгеновского излучения высокой импульсной мощности малогабаритным источником, применяемого в рентгенографии и рентгеноскопии, рентгенотерапии, рентгеновской дефектоскопии, рентгеноструктурном и рентгенофлуоресцентном анализах. Ускоритель содержит вакуумную камеру, пироэлектрический кристалл, нагревательное устройство и заземленный электрод. Нагревательное устройство выполнено в виде теплопровода с расположенным на нем

кремниевым диодом, а заземленным электродом является поверхность пироэлектрического кристалла, кроме того, устройство дополнительно включает термопару, контролирующую изменение температуры на поверхности пироэлектрического кристалла, и управляемый катодный источник ускоренных электронов, выполненный в виде нити накала, установленной на металлической подложке. Устройство найдет применение при создании на его основе рентгеновских мобильных анализаторов наличия дефектов в труднодоступных для исследования участках производимой продукции.

RU 183140 U1

RU 183140 U1

Полезная модель относится к области рентгеновской техники и может быть использована для генерации рентгеновского излучения высокой импульсной мощности малогабаритным источником, применяемого в рентгенографии и рентгеноскопии, рентгенотерапии, рентгеновской дефектоскопии, рентгеноструктурном и  
5 рентгенофлуоресцентном анализе.

Наиболее распространенный и традиционный способ генерации импульсного рентгеновского излучения - это импульсные рентгеновские трубки, использующие внешний источник высокого напряжения между анодом и катодом, который эмитирует электроны. Электроны, в свою очередь, под действием разницы потенциалов между  
10 катодом и анодом ускоряются на анод и при торможении в нем производят рентгеновское излучение. Одним из первых подобных устройств, работа которых основана на таком принципе, является «Рентгеновская трубка», описанная в патенте (US № 1946312 А, публ. 06.02.1934 г.).

В дальнейшем схема генерации рентгеновского излучения неоднократно  
15 модернизировалась, но основной принцип действия сохранился. Например, использовались импульсные рентгеновские трубки для генерации импульсного рентгеновского излучения, описанные в патенте под названием «Система и способ получения импульсного монохроматического рентгеновского излучения» (US № 6687333 В2, публ. 25.01.1999 г.). В таких трубках осуществлялась импульсная модуляция пучка  
20 электронов путем изменения режима питания катодного узла.

Общими недостатками таких традиционных устройств являются большие энергозатраты, связанные, прежде всего, с необходимостью применения внешнего источника высоковольтного питания.

Другой известный способ генерации рентгеновского излучения, основан на  
25 применении пирозлектрического эффекта в пирозлектрических кристаллах. Этот эффект заключается в том, что при изменении температуры пирозлектрического кристалла, на его поверхности генерируется высокий потенциал, знак которого зависит от направления градиента температуры и используется для ускорения электронов в вакууме к мишени или к кристаллу и дальнейшей генерации рентгеновского излучения при  
30 торможении электронов в веществе. На таком принципе основана работа устройства, описанного в патенте под названием «Пирозлектрический источник рентгеновского излучения» (CN № 1287378 А, публ. 07.09.2000 г.). Техническое решение состоит из корпуса, пирозлектрического кристалла, мишени, нагревательного и охлаждающего устройств и теплоотвода.

Известно устройство под названием «Генератор рентгеновского излучения COOL-  
35 X» (<http://amptek.com/products/cool-x-pyroelectric-x-ray-generator/>), которое производится в США фирмой Amptek. COOL-X представляет собой миниатюрный рентгеновский генератор, принцип работы которого основан на пирозлектрическом эффекте. Герметичный металлический корпус источника имеет тонкое бериллиевое окно,  
40 предназначенное для вывода рентгеновских лучей. COOL-X не содержит радиоизотопы или источники питания высокой мощности. Это автономная, твердотельная система, которая генерирует рентгеновское излучение, когда на кристалл воздействуют термически.

Недостатком этого устройства также является отсутствие элементов управления для  
45 модуляции пучка ускоряемых электронов и, следовательно, потока рентгеновского излучения.

Наиболее близким к предлагаемому устройству является «Генератор электронов и рентгеновского излучения», описанный в патенте (US № 3840748 А, публ. 08.10.1974

г.). Устройство состоит заземлённого электрода, выполненного из тонкой металлической сетки, пироэлектрического кристалла, выполненного из  $\text{LiNbO}_3$ , который контактирует с нагревательным устройством - элементом Пельтье. Кристалл монтируется таким образом, что направление поляризации перпендикулярно его верхней поверхности. Все

5 элементы расположены в вакуумной камере. Принцип работы описанного технического решения основан на пироэлектрическом эффекте, который позволяет генерировать рентгеновское излучение, не используя внешние высоковольтные источники напряжения.

Основным недостатком этого способа, основанного на пироэлектрическом эффекте, является отсутствие возможности управления процессом генерации рентгеновского

10 излучения в пироэлектрических кристаллах при изменении их температуры. Это связано с отсутствием элементов управления током электронов, ускоряемых в пироэлектрическом ускорителе.

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое техническое решение, является создание устройства, позволяющего генерировать импульсное рентгеновское излучение

15 высокой мощности в пироэлектрическом ускорителе.

Поставленная задача решается с помощью предлагаемого устройства, импульсного пироэлектрического ускорителя, который содержит вакуумную камеру, пироэлектрический кристалл, нагревательное устройство и заземленный электрод, причем нагревательное устройство выполнено в виде теплопровода с расположенным

20 на нем кремниевым диодом, а заземленным электродом является поверхность пироэлектрического кристалла. Кроме того, предлагаемое устройство дополнительно включает термопару, которая контролирует изменение температуры на поверхности пироэлектрического кристалла и управляемый катодный источник ускоренных электронов, выполненный в виде нити накала, которая установлена на металлической

25 подложке.

Технический результат заключается в увеличении импульсной мощности пироэлектрического источника рентгеновского излучения за счет используемого управляемого катодного источника ускоренных электронов, выполненного в виде нити накала.

Предлагаемое устройство отличается от прототипа тем, что используемый управляемый катодный источник, выполненный в виде нити накала, позволяет управлять

30 потоком электронов, что делает возможным и управление генерируемого потока рентгеновского излучения.

Нагревательным устройством является кремниевый диод, который обеспечивает термическое воздействие на пироэлектрический кристалл в более широком диапазоне температур, чем используемый в прототипе элемент Пельтье.

Также устройство дополнительно включает термопару, которая позволяет контролировать изменение температуры пироэлектрического кристалла.

Первое преимущество предлагаемой полезной модели заключается в возможности

40 получения импульсного рентгеновского излучения с высокой импульсной мощностью при существенно меньших энергозатратах. Второе преимущество состоит в отсутствии внешнего блока высоковольтного питания в связи с тем, что высокое напряжение, благодаря пироэлектрическому эффекту, вырабатывается внутри вакуумной металлической камеры. Третье преимущество заключается в высоковольтной

45 безопасности, потому что в случае нарушения вакуума заряд с пироэлектрического кристалла стекает на землю и высокое напряжение исчезает. Четвертое преимущество заключается в возможности управления генерируемым потоком рентгеновского излучения, что позволяет создать источник рентгеновского излучения с высокой

импульсной мощностью.

Полезная модель поясняется чертежами:

Фиг. 1 - Функциональная схема устройства.

Фиг. 2 - Схема осуществления работы устройства.

5 Устройство (Фиг. 1) состоит из пьезоэлектрического кристалла 1, теплопровода 2, кремниевого диода 3, термопары 4, металлической подложки 5, нити накала 6. Указанные элементы расположены в вакуумной камере 7. Вне ее - линейный транслятор 8, детектор 9 (Фиг. 2).

10 Пьезоэлектрический кристалл 1 изготовлен из пьезоэлектрического материала с высоким пьезоэлектрическим коэффициентом (например, ниобата лития или танталата лития) в виде параллелепипеда или цилиндра. Пьезоэлектрический кристалл 1 крепится к заземленному теплопроводу 2, выполненному из алюминиевого сплава, с помощью электропроводящего клея таким образом, чтобы при нагреве на свободной поверхности пьезоэлектрического кристалла 1 образовывался положительный потенциал.

15 Теплопровод 2 представляет собой цельную деталь сложной формы в виде цилиндра и диска и обеспечивает перенос тепла от кремниевого диода 3 к пьезоэлектрическому кристаллу 1. Площадь поверхности диска теплопровода 2 превышает площадь поверхности пьезоэлектрического кристалла 1, обеспечивая равномерный нагрев его поверхности. Кремниевый диод 3, предназначенный для нагрева пьезоэлектрического

20 кристалла 1, крепится к теплопроводу 2 и осуществляет его равномерный нагрев. К диску теплопровода 2 с внешней стороны от пьезоэлектрического кристалла 1 крепится термопара 4, контролирующая изменение температуры на поверхности пьезоэлектрического кристалла 1. Параллельно поверхности пьезоэлектрического кристалла 1 на расстоянии, которое задается линейным транслятором 8 и превышает

25 его высоту, не допуская соприкосновения с ним, расположена заземленная металлическая подложка 5. На заземленной металлической подложке 5 установлена нить накала 6, смещенная к краю, которая при нагреве эмитирует со своей поверхности свободные электроны ( $e^-$ ), генерирующие рентгеновское излучение ( $h\nu$ ), которое регистрируется детектором 9.

30 Работает устройство в условиях вакуума при давлении остаточного газа в вакуумной камере 7 не более 1 мТорра. На пьезоэлектрический кристалл 1, который прикреплен к теплопроводу 2, оказывается термическое воздействие - нагрев, за счет подачи тока на кремниевый диод 3. Изменение температуры на поверхности пьезоэлектрического кристалла 1 контролируется термопарой 4. Вследствие пьезоэлектрического эффекта,

35 из-за изменения температуры пьезоэлектрического кристалла 1 на его поверхности образуется положительный потенциал, обусловленный ориентацией вектора спонтанной поляризации. Нить накала 6 установлена на металлической подложке 5 на расстоянии от поверхности пьезоэлектрического кристалла 1, которое задается линейным транслятором 8 и превышает его высоту, чтобы не допустить искровых пробоев на

40 нить накала 6. На нить накала 6 подается напряжение, в результате чего с ее поверхности эмитируют свободные электроны. Вследствие кулоновского притяжения двух разноименных зарядов, свободные электроны ускоряются к положительно заряженной поверхности пьезоэлектрического кристалла 1. А затем ускоренные электроны, эмитированные с поверхности нити накала 6, тормозятся на атомах, входящих в

45 элементный состав пьезоэлектрического кристалла 1. В процессе торможения ускоренные электроны генерируют тормозное и характеристическое рентгеновское излучение высокой импульсной мощности, т.е. высокой интенсивности за короткий промежуток времени - порядка долей секунды, регистрируемое детектором 9.

В качестве примера осуществления работы устройства, для увеличения импульсной мощности пироэлектрического источника рентгеновского излучения использовался пироэлектрический кристалл 1 выполненный из ниобата лития в форме параллелепипеда. Геометрические параметры пироэлектрического кристалла 1: длина и ширина основания составляли - 20 мм, а высота - 10 мм. Теплопровод 2, закрепленный на линейном трансляторе 8 и заземленный через него, был выполнен из дюралюминия, диаметр цилиндра теплопровода 2 составлял 15 мм, а диск теплопровода 2 имел диаметр 40 мм и толщину 5 мм. На кремниевый диод 3 подавался ток порядка 10 А, при этом напряжение составляло порядка 1.8 В, что способствовало нагреву пироэлектрического кристалла 1. С помощью термопары 4 осуществлялся контроль температуры пироэлектрического кристалла 1, которая изменялась в диапазоне от 25°C до 75°C в процессе нагрева кремниевого диода 3 в течение 300 секунд. При этом граничная энергия рентгеновского излучения, регистрируемого с помощью полупроводникового кадмий-теллурического детектора 9 составила около 30 кэВ. Общее количество зарегистрированных событий генерируемого рентгеновского излучения, без подачи напряжения на нить накала 6, составило 30000, зарегистрированных в течение около 300 секунд. Затем, продолжая нагрев пироэлектрического кристалла 1, на нить накала 6, расположенную на расстоянии 12 мм от пироэлектрического кристалла 1, которое задается линейным транслятором 8, было подано напряжение порядка 2 В. И было установлено, что интенсивность рентгеновского излучения возрастает на порядок, что составило примерно 300000 событий, зарегистрированных детектором 9 в течение 3-5 секунд, с момента включения нити накала 6. Таким образом, импульсная мощность источника рентгеновского излучения возросла приблизительно на два порядка. При этом давление остаточного газа в вакуумной камере 7 составляло порядка 1 мТорр.

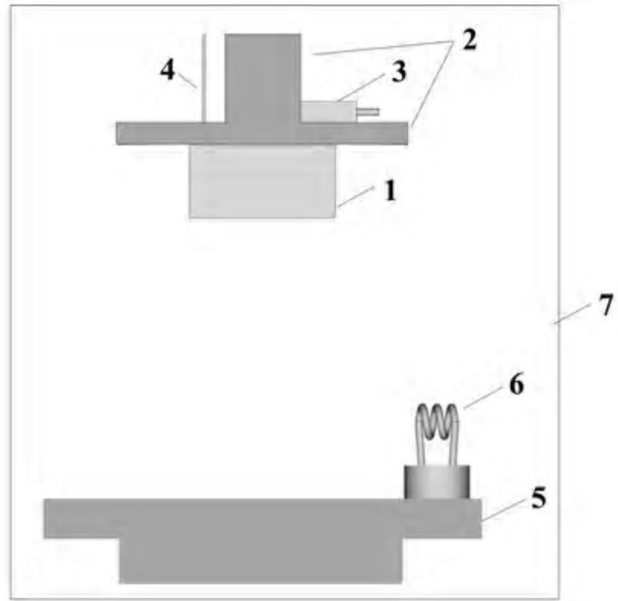
Предлагаемое устройство может использоваться в рентгенографии -фотографирование внутреннего строения непрозрачных предметов при помощи рентгеновых лучей, где граничной энергии рентгеновского излучения порядка десятков кэВ будет достаточно при высокой интенсивности излучения порядка  $1 \times 10^5$  событий в секунду. Предлагаемое устройство имеет миниатюрное компактное исполнение, геометрические размеры составляют порядка нескольких сантиметров, что делает его абсолютно мобильным. Также устройство найдет применение при создании на его основе рентгеновских мобильных анализаторов наличия дефектов в труднодоступных для исследования участках производимой продукции.

#### 35 (57) Формула полезной модели

Импульсный пироэлектрический ускоритель, содержащий вакуумную камеру, пироэлектрический кристалл, нагревательное устройство и заземленный электрод, отличающийся тем, что нагревательное устройство выполнено в виде теплопровода с расположенным на нем кремниевым диодом, а заземленным электродом является поверхность пироэлектрического кристалла, кроме того, устройство дополнительно включает термопару, контролирующую изменение температуры на поверхности пироэлектрического кристалла, и управляемый катодный источник ускоренных электронов, выполненный в виде нити накала, установленной на металлической подложке.

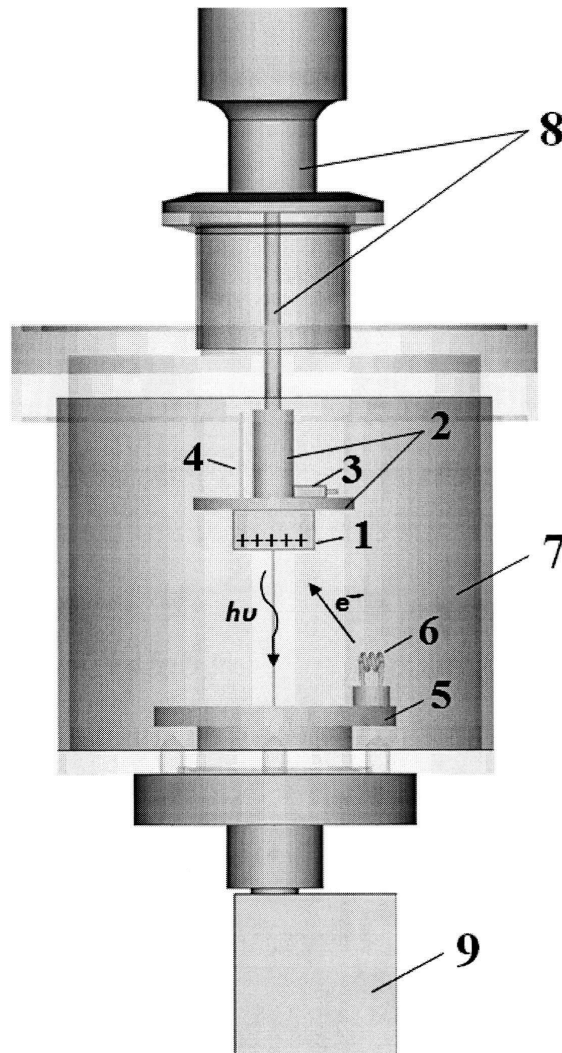
45

Импульсный пьезоэлектрический ускоритель



Фиг. 1

### Импульсный пироэлектрический ускоритель



Фиг. 2