



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*H05G 1/00 (2020.02)*

(21)(22) Заявка: 2020116698, 21.05.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
21.05.2020

Дата регистрации:  
17.08.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.05.2020

(45) Опубликовано: 17.08.2020 Бюл. № 23

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Кубанкин Александр Сергеевич (RU),  
Ивашук Олег Орестович (RU),  
Щагин Александр Васильевич (UA),  
Каплий Анна Андреевна (UA),  
Вохмянина Кристина Анатольевна (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: RU2480159 C1, 27.04.2013. US9883576  
B2, 30.01.2018. WO2013072828 A1, 23.05.2013.  
CN100423165 C, 01.10.2008.

(54) Импульсный пьезоэлектрический ускоритель

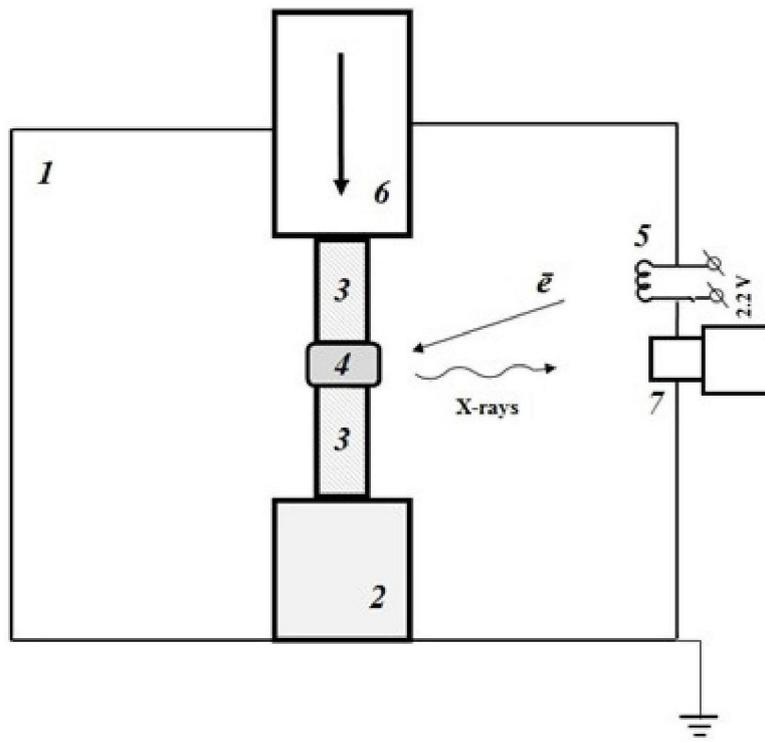
(57) Реферат:

Полезная модель относится к области рентгеновской техники и может быть использована для генерации рентгеновского излучения и ускорения заряженных частиц до энергий порядка 100 кэВ миниатюрным источником, применяемого в рентгенографии и рентгеноскопии, рентгенотерапии, рентгеновской дефектоскопии, рентгеноструктурном и рентгенофлуоресцентном анализе. Устройство содержит расположенные в вакуумной камере два пьезоэлемента, высоковольтный электрод и актюатор. Устройство выполнено с возможностью осуществления механического воздействия одним актюатором на установленные на подложке пьезоэлементы, с расположенным между ними высоковольтным электродом. Кроме

того, устройство дополнительно включает нить накала, генерирующую рентгеновское излучение высокой интенсивности и импульсной мощности за короткий промежуток времени, а также включает полупроводниковый детектор, регистрирующий рентгеновское излучение. Предлагаемое устройство может использоваться в рентгеновской спектроскопии – выявление процентного содержания примесных элементов в химическом составе продукции нефтегазодобывающих компаний. Также устройство найдет применение в рентгенографии - получение снимков костной ткани при локальном облучении поврежденного места, что увеличивает радиационную безопасность.

RU 199119 U1

RU 199119 U1



Фиг. 1

Полезная модель относится к области рентгеновской техники и может быть использована для генерации рентгеновского излучения и ускорения заряженных частиц до энергий порядка 100 кэВ миниатюрным источником, применяемого в рентгенографии и рентгеноскопии, рентгенотерапии, рентгеновской дефектоскопии, рентгеноструктурном и рентгенофлуоресцентном анализе.

Наиболее распространённый и традиционный способ генерации рентгеновского излучения – это рентгеновские трубки, с применением внешнего источника высокого напряжения между анодом и катодом, который эмитирует электроны. Электроны, в свою очередь, под действием разницы потенциалов между 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» (US № 1946312 А, публ. 06.02.1934 г.).

В дальнейшем, схема генерации рентгеновского излучения неоднократно модернизировалась, но основной принцип действия сохранялся. Например, использовались импульсные рентгеновские трубки для генерации импульсного рентгеновского излучения (US № 6687333 В2, публ. 25.01.1999 г.). В таких трубках осуществлялась импульсная модуляция пучка 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 и степенью опасности при его эксплуатации.

Другой известный способ генерации рентгеновского излучения (Pyroelectric X-ray generator, James D. Brownridge, Nature, volume 358, pages287–288, 1992), основан на применении пьезоэлектрического эффекта в пьезоэлектрических кристаллах. Этот эффект заключается в том, что при изменении температуры пьезоэлектрического кристалла, на поверхности кристалла генерируется высокий потенциал, знак которого зависит от направления изменения температуры и используется для ускорения электронов в вакууме к мишени или к кристаллу и дальнейшей генерации рентгеновского излучения при торможении электронов в веществе. На таком принципе работы основано известное устройство (US № 3840748 А, публ. 08.10.1974 г.).

Недостатком этого способа, основанного на пьезоэлектрическом эффекте, является отсутствие возможности управления процессом генерации рентгеновского излучения в пьезоэлектрических кристаллах при изменении их температуры. Это связано с отсутствием элементов управления током электронов, ускоряемых в пьезоэлектрическом ускорителе.

Наиболее близким к предлагаемому устройству является «Генератор рентгеновского излучения при деформации пьезоэлектрика в вакууме» (RU № 176453 U1, публ. 19.01.2018 г.), который содержит два пьезоэлемента, соединенные между собой через катод в виде высоковольтного электрода, анод, выполненный в виде двух заземленных электродов, и два актюатора, которые заземлены и не изолированы от высоковольтного электрода, кроме того, пьезоэлементы, высоковольтный и заземленный электроды находятся в вакууме, а актюаторы расположены вне вакуума.

Недостатками этого устройства являются неравномерное распределение механической нагрузки на пьезоэлементы и, как следствие, нестабильный процесс генерации рентгеновского излучения, а также достижение максимальных значений интенсивности и импульсной мощности рентгеновского излучения в течение длительного времени.

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое техническое решение, является создание устройства, позволяющего преобразовывать механическую энергию в энергию

рентгеновского излучения при сжатии пьезоэлементов в вакууме, а также обладающего возможностью достигать максимальных значений импульсной мощности и интенсивности излучения за короткий промежуток времени.

5 Поставленная задача решается с помощью предлагаемого устройства – импульсного пьезоэлектрического ускорителя, который содержит расположенные в вакуумной камере два пьезоэлемента, высоковольтный электрод и актюатор, причем, устройство выполнено с возможностью осуществления механического воздействия одним  
10 актюатором на установленные на подложке пьезоэлементы, с расположенным между ними высоковольтным электродом. Также, устройство дополнительно включает нить накала, обеспечивающую генерацию рентгеновского излучения высокой интенсивности и импульсной мощности за короткий промежуток времени, и полупроводниковый детектор, регистрирующий рентгеновское излучение.

Технический результат заключается в генерации рентгеновского излучения высокой интенсивности и импульсной мощности за короткий промежуток времени, за счет  
15 использования дополнительного импульсного источника электронов.

Предлагаемое устройство отличается от прототипа (RU № 176453 U1, публ. 19.01.2018 г.) тем, что оно дополнительно содержит управляемый импульсный источник электронов – нить накала, что позволяет генерировать рентгеновское излучение высокой  
20 интенсивности и импульсной мощности за короткий промежуток времени при сжатии пьезоэлементов в вакууме.

Первое преимущество предлагаемой полезной модели заключается в возможности стабильной генерации рентгеновского излучения с высокой интенсивностью и импульсной мощностью за короткий промежуток времени, вследствие внедрения в  
25 конструкцию разрабатываемого устройства дополнительного импульсного источника электронов – нити накала, позволяющей достигать максимальных значений интенсивности рентгеновского излучения. Второе преимущество состоит в возможности управления скоростью изменения механической нагрузки на пьезоэлементы, так как в конструкции устройства присутствует один актюатор, позволяющий контролировать механическую нагрузку.

30 Полезная модель поясняется чертежом.

Фиг. 1 – функциональная схема устройства.

Устройство состоит из вакуумной камеры 1, подложки 2, двух пьезоэлементов 3, высоковольтного электрода 4, нити накала 5, актюатора 6 и полупроводникового детектора 7.

35 Вакуумная камера 1 с фланцами, корпус которой заземлен, представляет собой ограниченный объём, в котором создаётся давление не более 1 мТорр. Подложка 2 выполнена из нержавеющей стали в виде цилиндра. Пьезоэлементы 3 (пьезоэлектрическая керамика) выполнены в виде цилиндров и параллельно соединены между собой через высоковольтный электрод 4 произвольной формы, изготовленный  
40 из проводящего материала. На одном из фланцев вакуумной камеры 1, установлена нить накала 5, один вывод которой заземлен, а на второй подается постоянное напряжение. Нить накала 5 является дополнительным источником электронов, которые эмитируют с ее поверхности под действием электрического поля, генерируемого пьезоэлементами 3 при воздействии на них актюатором 6. Актюатор 6 представляет собой металлический цилиндр, и обеспечивает контролируемую механическую нагрузку на пьезоэлементы 3 внутри вакуумной камеры 1. Для регистрации рентгеновского  
45 излучения используется полупроводниковый детектор 7, установленный на одном из фланцев вакуумной камеры 1 так, чтобы угол регистрации был максимальным.

В вакуумную камеру 1 на подложку 2 устанавливаются пьезоэлементы 3 с расположенным между ними высоковольтным электродом 4. На фланцы вакуумной камеры 1 устанавливаются: нить накала 5, актюатор 6 и полупроводниковый детектор 7. При этом работает устройство при давлении остаточного газа в вакуумной камере 1 порядка 0,1 мТорр. Пьезоэлементы 3 подвергаются сжатию, путем контролируемого механического воздействия на них актюатором 6, в результате чего на поверхности высоковольтного электрода 4 образуется положительный заряд. На незаземленный вывод нити накала 5, установленной на одном из фланцев вакуумной камеры 1, подается постоянное напряжение, что способствует генерации свободных электронов и их ускорению к высоковольтному электроду 4. В результате взаимодействия электронов, ускоренных от нити накала 5, с поверхностью высоковольтного электрода 4, имеющего положительный заряд, генерируется рентгеновское излучение высокой интенсивности и импульсной мощности за короткий промежуток времени, которое регистрируется полупроводниковым детектором 7. Также устройство позволяет генерировать рентгеновское излучение меньшей интенсивности при снятии нагрузки, приложенной актюатором 6 к пьезоэлементам 3 в вакуумной камере 1.

#### Пример.

Для осуществления работы устройства, в вакуумную камеру 1 на подложку 2, выполненную из нержавеющей стали в виде цилиндра диаметром 30 мм и высотой 50 мм устанавливаются пьезоэлементы 3. Пьезоэлементы 3 цилиндрической формы, выполнены из цирконата титаната бората свинца (ЦТБС-3М) с наименьшим отношением величины пьезоэлектрического коэффициента к величине диэлектрической проницаемости. Геометрические параметры: диаметр основания составляет – 6,4 мм, высота керамики – 15 мм. Между ними устанавливается высоковольтный электрод 4. На фланцы вакуумной камеры 1 устанавливаются: нить накала 5, актюатор 6 и полупроводниковый детектор 7. Производится откачка воздуха из вакуумной камеры 1. Пьезоэлементы 3 подвергаются сжатию, путем контролируемого механического воздействия на них актюатором 6 с нагрузкой равной 200 МПа в течение 30 секунд, в результате чего на поверхности высоковольтного электрода 4 образуется положительный заряд. При этом энергия рентгеновского излучения, регистрируемого с помощью полупроводникового детектора 7 (Amptek – 100T CdTe) составила 60 кэВ. Общее количество зарегистрированных событий рентгеновского излучения генерируемого при работе устройства в течение 30 секунд без включенной нити накала 5 составляет  $10^6$ . Затем на незаземленный вывод нити накала 5, установленной на одном из фланцев вакуумной камеры 1, подается постоянное напряжение порядка 2,2 В, что способствует генерации свободных электронов и их ускорению к высоковольтному электроду 4. После того, как на нить накала 5 было подано напряжение, интенсивность рентгеновского излучения возросла в 100 раз, что составило примерно  $10^8$  событий, зарегистрированных полупроводниковым детектором 7 в течение 1-3 секунд, с момента включения нити накала 5. Таким образом, импульсная мощность источника рентгеновского излучения возросла приблизительно на четыре порядка за более короткий промежуток времени.

Предлагаемое устройство может использоваться в рентгеновской спектроскопии – выявление процентного содержания примесных элементов в химическом составе продукции нефтегазодобывающих компаний. Также устройство найдет применение в рентгенографии - получение снимков костной ткани при локальном облучении поврежденного места, что увеличивает радиационную безопасность. Для работы

данного устройства требуется только механическая энергия, что позволяет эксплуатировать устройство в полевых условиях, например, в геологических экспедициях для идентификации природных минералов. Другой областью применения предлагаемого устройства является создание на его основе источника ускоренных до энергий порядка 100 кэВ ионов.

(57) Формула полезной модели

Импульсный пьезоэлектрический ускоритель, содержащий расположенные в вакуумной камере два пьезоэлемента, высоковольтный электрод и актюатор, отличающийся тем, что устройство выполнено с возможностью осуществления механического воздействия одним актюатором на установленные на подложке пьезоэлементы, с расположенным между ними высоковольтным электродом, кроме того устройство дополнительно включает нить накала, генерирующую рентгеновское излучение высокой интенсивности и импульсной мощности за короткий промежуток времени, а также включает полупроводниковый детектор регистрирующий рентгеновское излучение.

20

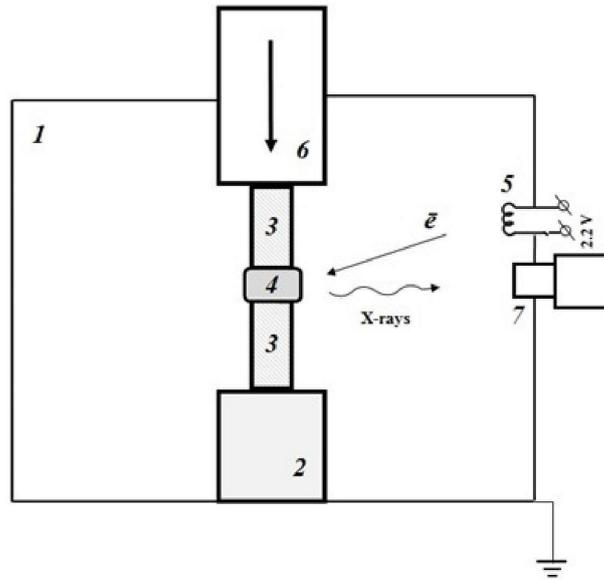
25

30

35

40

45



Фиг. 1