



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016126031, 29.06.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
29.06.2016Дата регистрации:  
02.03.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.06.2016

(45) Опубликовано: 02.03.2017 Бюл. № 7

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),  
Каплий Анна Андреевна (UA)

(73) Патентообладатель(и):

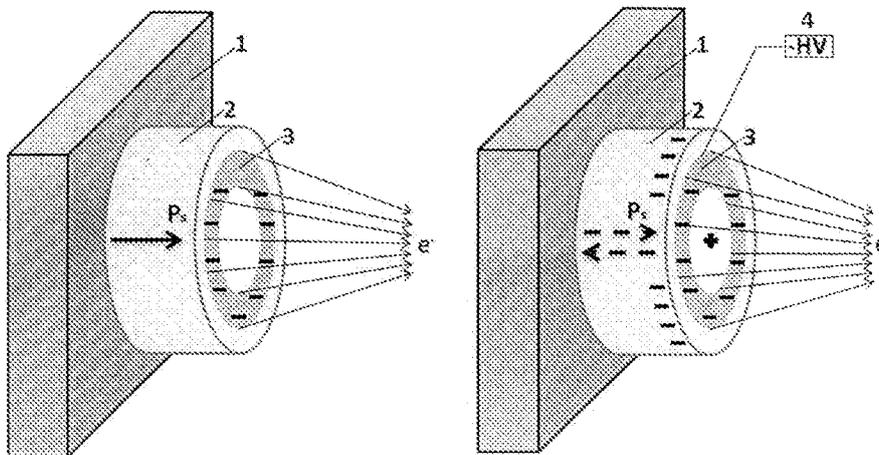
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: DE 10057072A1, 23.05.2001. RU  
2184404C2, 27.06.2002. JP 1186724A, 30.03.1999.

(54) Пирозлектрический холодный катод с кольцевым поверхностным электродом

(57) Реферат:

Полезная модель - пирозлектрический холодный катод с кольцевым поверхностным электродом - относится к электронной технике, в частности к технике электрических вакуумных приборов и может быть использовано в генераторах рентгеновского излучения, а также в качестве катода в электронных пушках и электронно-лучевых трубках. Пирозлектрический холодный катод с кольцевым поверхностным

электродом включает сегнетоэлектрический кристалл, элемент Пельтье, электрод, выполненный в форме кольца и источник высокого напряжения. Технический результат заключается в получении сфокусированного электронного пучка низкой энергии, изначально обладающего фокусировкой за счет формы электрода, а также в результате осуществления комбинированного режима работы устройства.



Фиг. 1

Полезная модель - пироэлектрический холодный катод с кольцевым поверхностным электродом - относится к электронной технике, в частности к технике электрических вакуумных приборов и может быть использовано в генераторах рентгеновского излучения, а также в качестве катода в электронных пушках и электронно-лучевых трубках.

Известно несколько устройств и технологий, предполагающих подачу напряжения на металлические электроды, нанесенные на поверхность сегнетоэлектрика.

Так, в патенте RU № 2184404 (опубл. 27.06.2002 г.) под названием «Катод, электронная пушка и электронно-лучевая трубка, использующая сегнетоэлектрический эмиттер» описывается электронная пушка, на поверхность катода которой нанесен сегнетоэлектрический слой (толщина 1-10 мкм, материал ЦТС-керамика), способный испускать электроны. Также электронная пушка содержит множество отдельных электродов на поверхности сегнетоэлектрического слоя, на которые подается высокое напряжение. В другом патенте JP № Н 05325777 А (публ.10.12.1993г.) под названием «Сегнетоэлектрический холодный катод» описывается катод, изготовленный из сегнетоэлектрика с двумя электродами, расположенными на противоположных поверхностях кристалла. Для получения эмиссии на два электрода подается высокое напряжение. А технология JP № Н 1186724 А (опубл. 30.03.1999 г.), носящая название «Производство сегнетоэлектрического плоского катода», представляет собой катод, изготовленный из сегнетоэлектрика с двумя электродами на рабочей и задней поверхности сегнетоэлектрического образца. В патенте предлагается способ получения такого катода.

Наиболее близким по исполнению к предлагаемому изобретению является устройство, описанное в патенте DE № 10057072 А1 (опубл. 23.05.2001 г.) под названием «Сегнетоэлектрический катод для рентгеновской трубки». Основу катода составляет сегнетоэлектрик с электродом, расположенным на рабочей поверхности. Электрод представляет собой сетчатую поверхность, созданную напылением, на которую подается переменное высокое напряжение. Предпочтительный материал сегнетоэлектрика – керамика  $Pb(Mg,Nb)O_3\{PMN\}$ ,  $(Ba,Sr)TiO_3$ ,  $(Pb,La)(Zr,Ti)O_3\{PZT,PLZT\}$ .

Сегнетоэлектрический катод с электродной сеткой на рабочей поверхности может находиться в катодном кожухе, конструкция которого зависит от конкретной решаемой задачи. Кроме того, для решения поставленной в патенте DE № 10057072 А1 технической задачи предусмотрены следующие изменения в конструкции катода: на задней поверхности сегнетоэлектрика также может располагаться сетка электродов, одна из поверхностей может быть неплоской, напротив рабочей поверхности кристалла может располагаться мишень для сбора эмитируемых электронов для последующей генерации рентгеновского излучения.

Общими недостатками аналогов и прототипа являются расфокусированность выходящего электронного потока, а также необходимость в постоянном поддержании переменного высокого напряжения в течение всего времени работы катода, т. е. данная конструкция является энергозатратной.

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое техническое решение, является создание устройства, позволяющего получать сфокусированный пучок выходящего электронного потока с меньшими затратами на потребление электрической энергии.

Поставленная задача решается с помощью предлагаемого пироэлектрического холодного катода с кольцевым поверхностным электродом, который включает сегнетоэлектрический кристалл, электрод и источник высокого напряжения. Пироэлектрический холодный катод дополнительно содержит элемент Пельтье, а

электрод выполнен в форме кольца, толщиной порядка 1 мм. Такая конструкция позволяет работать устройству в комбинированном режиме, а именно воздействовать на сегнетоэлектрический кристалл одновременно переменным высоким напряжением и термически или только термически.

5 Предлагаемое устройство отличается от прототипа формой электрода - вместо сетчатого электрода в предлагаемом устройстве используется кольцевой электрод, а также для термического воздействия на катод дополнительно вводится элемент Пельтье. В результате чего, вместо постоянного воздействия на сегнетоэлектрический кристалл переменным отрицательным высоким напряжением как в прототипе, предлагаемое  
10 устройство может осуществлять работу в комбинированном режиме. Этот режим предусматривает применение переменного отрицательного высокого напряжения с термическим воздействием или только термическое воздействие на сегнетоэлектрический кристалл в зависимости от ориентации вектора поляризации.

Преимущество предлагаемого устройства состоит в том, что оно позволяет получать  
15 первичную фокусировку выходящего из катода электронного пучка без использования магнитооптических приборов в отличие от прототипа, который нуждается в постоянной фокусировке пучка с помощью магнитной оптики. Также предлагаемое устройство более энергоэффективно за счет снижения потребности высокого напряжения.

Технический результат заключается в получении сфокусированного электронного  
20 пучка низкой энергии, изначально обладающего фокусировкой за счет формы электрода, а также в результате осуществления комбинированного режима работы устройства.

Полезная модель поясняется чертежами.

На Фиг. 1 - пьезоэлектрический холодный катод с кольцевым поверхностным  
25 электродом при работе в режиме отрицательной и положительной полярности заряда на поверхности кристалла в случае, когда вектор спонтанной поляризации сегнетоэлектрического кристалла направлен в сторону рабочей поверхности.

На Фиг. 2 - пьезоэлектрический холодный катод с кольцевым поверхностным  
30 электродом при работе в режиме отрицательной и положительной полярности заряда на поверхности кристалла в случае, когда вектор спонтанной поляризации сегнетоэлектрического кристалла направлен в сторону задней поверхности.

Устройство состоит из элемента Пельтье - 1, сегнетоэлектрического кристалла - 2, кольцевого электрода - 3, источника - 4 переменного отрицательного высокого напряжения.

Элемент Пельтье 1 – устройство, позволяющее изменять температуру  
35 сегнетоэлектрического кристалла. Сегнетоэлектрический кристалл 2, такой как  $\text{LiNbO}_3$  (ниобат лития) или  $\text{LiTaO}_3$  (танталат лития) изготовлен в форме цилиндра. Характерный размер сегнетоэлектрического кристалла – 1 см. Кольцевой электрод 3 может быть закреплен на поверхности сегнетоэлектрика с помощью электропроводящего  
40 эпоксидного клея или может быть нанесен методами напыления. Материал кольцевого электрода – металл, например, медь. Ширина кольца зависит от диаметра рабочей поверхности сегнетоэлектрического кристалла 2.

Одной из характеристик сегнетоэлектрического кристалла является вектор  
спонтанной поляризации  $P_s$ , который указывает на поверхность кристалла, где  
45 индуцируется заряд. В зависимости от ориентации вектора спонтанной поляризации  $P_s$  возможны два варианта работы катода.

Вариант 1 – вектор спонтанной поляризации  $P_s$  (Фиг.1) направлен в сторону рабочей поверхности сегнетоэлектрического кристалла. При охлаждении сегнетоэлектрического

кристалла с помощью элемента Пельтье 1 на поверхности индуцируется отрицательный заряд, и, как следствие, поверхность сегнетоэлектрического кристалла приобретает также отрицательный потенциал. Известно, что большая часть индуцированного отрицательного заряда на поверхности сегнетоэлектрического кристалла 2  
5 распределяется по кольцу и этим обусловлен выбор формы электрода (см. N. Kukhtarev, T. Kukhtareva, M. Bayssie, J. Wang, and J. D. Brownridge, J. Appl. Phys. 96, 6794, 2004). Кольцевой электрод 3 собирает на себе подавляющую часть индуцированного отрицательного заряда. Электрическое поле сегнетоэлектрического кристалла 2 можно представить как поле равномерно заряженного кольца, которое достигает  
10 максимального значения напряженности на своей оси. Таким образом, электронная эмиссия с кольцевого электрода 3 инициируется отрицательным потенциалом с поверхности сегнетоэлектрического кристалла 2. За счет конфигурации поля, эмитирующие электроны ускоряются в одну точку на оси кольцевого электрода 3, определяемую размером сегнетоэлектрического кристалла 2 и величиной заряда на  
15 электроде 3. Так, образуется электронный пучок, который в дальнейшем можно использовать в зависимости от поставленной задачи. Пучок является непрерывным, его ток и энергия определяются скоростью изменения температуры кристалла. В данном случае источник 4 отрицательного переменного напряжения не используется. В момент переключения сегнетоэлектрического кристалла 2 из режима охлаждения в режим  
20 нагрева, с помощью элемента Пельтье 1, электронная эмиссия, обусловленная переполяризацией кристалла, продолжается. При нагреве на поверхности сегнетоэлектрического кристалла 2 индуцируется положительный заряд, подавляющая часть которого распределена по центральной части его поверхности (см. J.D. Brownridge, S.M. Shafroth, New Research on Lasers and Electrooptics, edited by William T. Arkin, Nova  
25 Science Publishers, New York, 2007). При этом вектор спонтанной поляризации  $P_s$  разворачивается на  $180^\circ$  (Фиг. 1). Прикладываемое с источника 4 высокого напряжения на кольцевой электрод 3 переменное отрицательное напряжение заставляет вектор спонтанной поляризации  $P_s$  поворачиваться обратно на  $180^\circ$  с частотой,  
30 соответствующей частоте прикладываемого высокого напряжения.

При этом за счет эффекта сегнетоэлектрической эмиссии при переполяризации (см. G. Rosenman, D. Shur, Ya. E. Krasik, and A. Dunaevsky, J. Appl. Phys. 88, 6109, 2000) с поверхности кольцевого электрода 3 эмитируют электроны. Конфигурация поля также аналогична полю равномерно заряженного кольца, что позволяет получать  
35 сфокусированный электронный поток. Инициатором эмиссии является отрицательное напряжение на электроде 3. Ток пучка при нагреве не является непрерывным, он имеет частоту приложенного высокого отрицательного напряжения. Энергия пучка не превосходит амплитуду прикладываемого отрицательного напряжения. Важное условие для работы катода: прикладываемое отрицательное напряжение должно превышать  
40 положительный потенциал, вырабатываемый при нагреве сегнетоэлектрического кристалла 2, это достигается за счет медленного нагрева с помощью элемента Пельтье 1. При переключении сегнетоэлектрического кристалла 2 из режима нагрева в режим охлаждения с помощью элемента Пельтье 1, электронная эмиссия идет в аналогичном режиме, описанном выше, при охлаждении. Тем самым происходит полный термический  
45 цикл работы катода.

Вариант 2 – пироэлектрическая ось кристалла направлена в сторону задней поверхности сегнетоэлектрического кристалла 2 (Фиг. 2). Работа катода в целом идентична варианту 1, описанному выше. Единственное отличие - режим работы при охлаждении в варианте 1 теперь применяется при нагреве, а режим работы при нагреве

в варианте 1 применяется при охлаждении.

Предлагаемое устройство может дополняться различными элементами в зависимости от конкретно поставленной задачи. Например, возможно дополнение магнитной оптикой (магнитными линзами) для последующей транспортировки и сохранения пучка электронов на дальних расстояниях. Или возможно - мишенью, расположенной в фокусной точке, в случае если катод предназначен для работы в рентгеновской трубке.

Пример работы устройства

В качестве примера осуществления работы пироэлектрического холодного катода с кольцевым поверхностным электродом был рассмотрен катод с таким сегнетоэлектрическим кристаллом 2, как танталат лития диаметром 20 мм и высотой 10 мм. Вектор спонтанной поляризации  $P_s$  сегнетоэлектрического кристалла 2 направлен в сторону задней поверхности. (Фиг. 2). Кольцевой электрод 3 нанесен на поверхность сегнетоэлектрического кристалла 2 методом магнетронного напыления и имеет внутренний радиус 8 мм, а внешний радиус 16 мм. При нагреве с помощью элемента Пельтье 1 сегнетоэлектрического кристалла 2 на  $15^\circ\text{C}$  со скоростью изменения температуры  $1,5^\circ\text{C}/\text{сек}$  на выходе из катода получается постоянный ток величиной порядка 1,5 нА, с максимальной энергией около 20 кэВ. При охлаждении с помощью элемента Пельтье 1 сегнетоэлектрического кристалла 2 на  $15^\circ\text{C}$  со скоростью изменения температуры  $0,5^\circ\text{C}/\text{сек}$ , при приложенном с источника 4 отрицательного напряжения величиной 20 кэВ с частотой 5 кГц, на выходе из катода получается ток с частотой 5 кГц и максимальным током порядка 2 нА, а энергия электронов не превышает 20 кэВ.

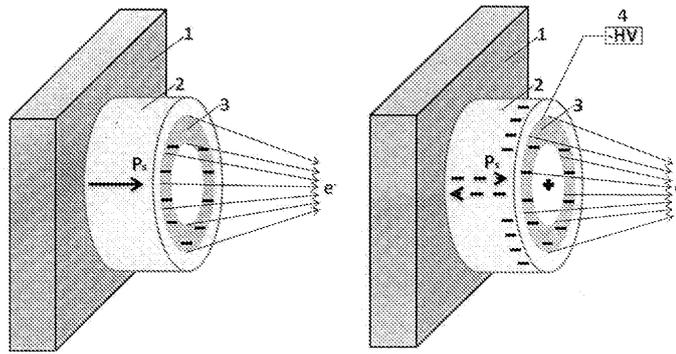
Полученные параметры предлагаемого кольцевого катода сопоставимы с параметрами работы катода, который был взят в качестве прототипа. Предлагаемая полезная модель благодаря форме электрода и комбинированному режиму воздействия на сегнетоэлектрический кристалл позволяет получать ток эмиссии и энергию электронов, эмитируемых с поверхности катода, тех же порядков величин. Однако при этом значение величины потребляемой мощности предлагаемого катода на порядок меньше, чем предлагается в прототипе. Это достигается за счет уменьшения времени воздействия источником высокого напряжения на кольцевой электрод, что делает предлагаемое устройство энергоэффективным.

Применение предлагаемого устройства возможно в генераторах рентгеновского излучения – рентгеновских трубках. Также устройство может найти применение в качестве катода в электронных пушках и электронно-лучевых трубках, являющихся неотъемлемой составляющей в таких устройствах как: ускорители заряженных частиц, электронные микроскопы, электронно-оптические преобразователи и т.д., которые, в свою очередь, используются с целью контроля качества продукции, элементного анализа образца и т.д.

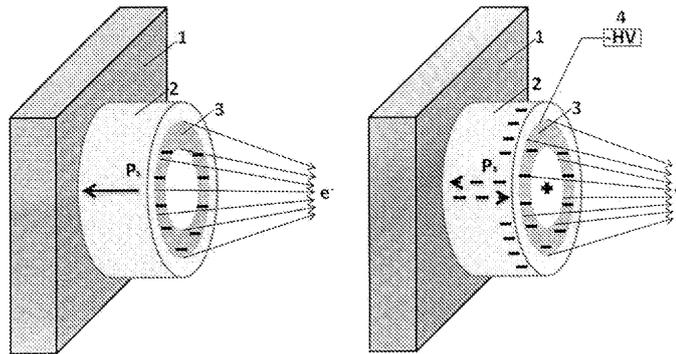
#### (57) Формула полезной модели

Пироэлектрический холодный катод с кольцевым поверхностным электродом, включающий сегнетоэлектрический кристалл, электрод и источник высокого напряжения, отличающийся тем, что дополнительно содержит элемент Пельтье, кроме того, электрод, нанесенный на поверхность сегнетоэлектрического кристалла, выполнен в форме кольца.

Пирозлектрический холодный катод  
с кольцевым поверхностным электродом



Фиг. 1



Фиг. 2