

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
H10N 15/00 (2023.05); F25B 21/02 (2023.05); H02N 2/00 (2023.05)

(21)(22) Заявка: 2023109250, 12.04.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
12.04.2023Дата регистрации:  
19.07.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.04.2023

(45) Опубликовано: 19.07.2023 Бюл. № 20

Адрес для переписки:

308015, г.Белгород, ул. Победы, 85, НИУ  
"БелГУ", Цурикова Наталья Дмитриевна

(72) Автор(ы):

Олейник Андрей Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

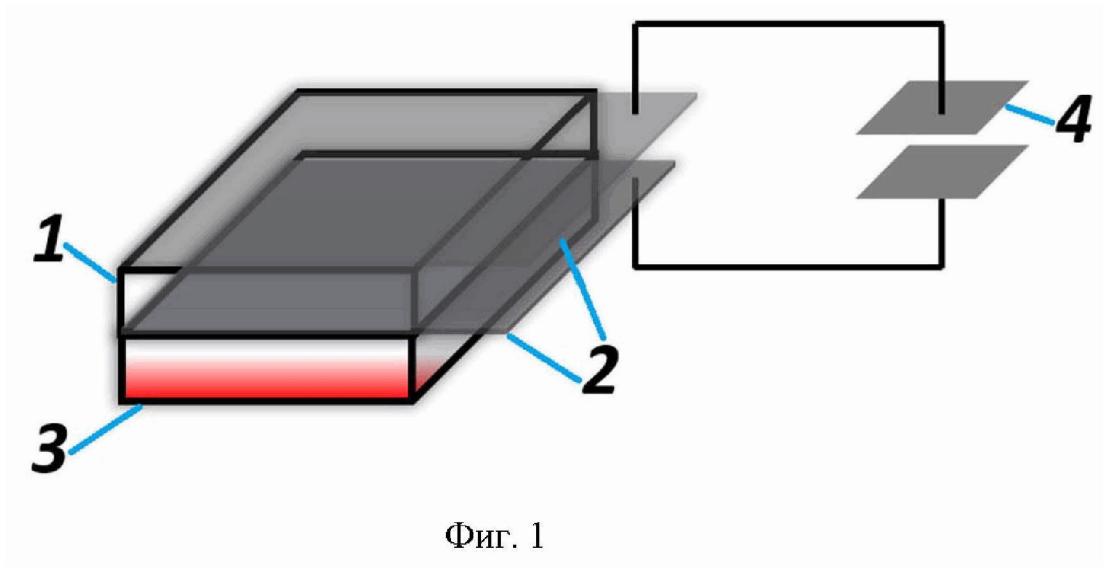
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: GB 2330456 B, 24.07.2002. RU 2223472  
C1, 10.02.2004. RU 184642 U1, 01.11.2018. US  
5644184 A, 01.07.1997.

(54) Пироэлектрический конвертер тепловой энергии в электрическую

(57) Реферат:

Полезная модель относится к устройствам для генерации электрической энергии и ее конвертации из других видов энергии и может использоваться в системах конвертации и накопления энергии, основанных на использовании различных источников тепла, а также для питания и подзарядки маломощных устройств в условиях дефицита электроэнергии и при периодической модуляции температуры окружающей среды. Конвертер тепловой энергии в электрическую содержит пироэлектрический материал, который выполнен в виде пластины, поперечные размеры которой больше ее

толщины, токопроводящие электроды расположены на противоположных полярных поверхностях пироэлектрического материала. С одной из сторон пироэлектрического материала к токопроводящему электроду прикреплен термоэлектрический модуль, площадь которого равна площади пироэлектрического материала и токопроводящего электрода, кроме того, максимальная амплитуда генерируемого тока обеспечивается сочетанием толщины пироэлектрического материала и частоты периодического варьирования температуры пироэлектрического материала.



RU 219474 U1

RU 219474 U1

Полезная модель относится к устройствам для генерации электрической энергии и ее конвертации из других видов энергии и может использоваться в системах конвертации и накопления энергии, основанных на использовании различных источников тепла, а также для питания и подзарядки маломощных устройств в условиях дефицита

5 электроэнергии и при периодической модуляции температуры окружающей среды.

Одним из физических явлений, позволяющих производить конвертацию тепловой энергии в электрическую, является пирозлектрический эффект. Это явление электризации определенных поверхностей пирозлектрических материалов при изменении их температуры. Как правило, электризуются поверхности, расположенные друг на против

10 друга зарядом разного знака, что позволяет при подключении их в единую цепь наблюдать электрический ток, который можно считать током разрядки конденсатора. Подключение в данную цепь дополнительных элементов (например, других конденсаторов) позволяет осуществлять накопление и использование электрической энергии, высвободившейся в результате термического воздействия на пирозлектрический

15 материал. Таким образом, имеется довольно простая в техническом исполнении возможность создания источников электричества, основанных на пирозлектрическом эффекте.

Известно устройство для конвертации энергии в электрическую «Пьезопирозлектрический преобразователь энергии» (US №5644184 А, публ. 01.07.1997),

20 в котором применяется в том числе и пирозлектрический эффект для конвертации в электрическую энергию. Устройство содержит одну или несколько пластин пирозлектрического материала, теплопроводящие электроды, горячий и холодный радиаторы, дополнительную цепь с конденсатором для сбора заряда и передачи ее потребителю, а также дополнительную цепь для приложения к пластинам электрического

25 поля определенной частоты (для дополнительной электризации за счет пьезоэлектрического эффекта). Контакт сборки пластин с теплопроводящими электродами попеременно с горячим и холодным радиатором приводит к зарядке сборки пластин при охлаждении и разрядке во внешнюю цепь при нагреве. Абсолютное большинство подобных устройств имеют схожую структуру, основные различия

30 сводятся к различию к методике изменения температуры пирозлектрического материала, а также к уточнению устройства цепи для сбора заряда.

В устройстве «Система пирозлектрического преобразования» (US № 6528898, публ. 04.03.2003) предлагается использование потоков горячих и холодных жидкостей вместо твердотельных радиаторов. Бесконтактное изменение температуры пирозлектрического

35 материала реализовано в устройстве под названием «Применение низкотемпературного и твердотельного пирозлектрического преобразователя энергии» (US № 7034411, публ. 16.12.2004). Устройство включает в себя пирозлектрический материал и диск, расположенный напротив него, который отражает тепловое излучение в сторону пирозлектрического материала. Стоит отметить, что в обоих устройствах способ сбора

40 заряда с пирозлектрических материалов не конкретизируется. Устройство дополнительной цепи для сбора заряда с пирозлектрического материала и передачи его внешнему потребителю более конкретизировано в устройстве «Пирозлектрический преобразователь энергии» (US № 4647836, публ. 03.03. 1987).

В изобретении «Способ получения электричества при обтекании нагретого тела за счет пирозлектрического преобразования тепла в вихревом следе» (RU № 2702982, публ. 14.10.2019) предлагается альтернативный способ бесконтактной передачи тепла пирозлектрическому материалу, за счет помещения его в вихревой след потока газа или жидкости, который образуется при обтекании газом или жидкостью нагретого или

охлаждаемого тела.

Известно устройство «Емкостной конвертор тепла среды в электроэнергию» (RU № 2227947, публ. 20.03.2004) в котором используется схожий принцип для генерации дополнительной электроэнергии, заключающийся в том, что пироэлектрический материал используется как изолятор в конденсаторе. Сборка конденсаторов заряжается и разряжается с определенной частотой, зависящей от общей емкости и генерируемое при протекании тока тепло конвертируется в дополнительную электроэнергию.

При протекании электрического тока через пироэлектрический материал имеет место и обратный пироэлектрический эффект, т.е. дополнительное выделение или поглощение тепла. Благодаря этому пироэлектрический конвертер может использоваться и как средство для отвода и поглощения излишней тепловой энергии в силовых электрических цепях. Известно устройство «Пироэлектрический преобразователь наведенных (выделившихся) энергий и токов в опасных цепях технических средств (ППНЭТ) с регулируемой чувствительностью» (RU № 190523, публ. 04.07.2019), которое включает в себя металлический корпус, к которому через изолирующую втулку прикреплен пироэлектрический материал, схемы усиления и фильтрации гальванически несвязанные с корпусом, но соединенные через переходной диск с пироэлектрическим материалом для передачи тепла во время протекания тока.

Также пироэлектрический конвертер может использоваться и как средство измерения параметров электрического тока. Известно устройство «Пироэлектрический преобразователь энергии одиночных импульсов тока» (RU № 2223472, публ. 10.02.2004), которое рассматривается как средство измерения энергии одиночных импульсов тока. Устройство включает в себя металлический корпус, пироэлектрический материал с двумя электродами, нить накаливания, схему усиления. Нить накаливания имеет тепловой контакт (но не электрический) с одним из электродов пироэлектрического материала. При прохождении импульса тока через нить, соответствующий тепловой импульс передается пироэлектрическому материалу, а преобразованный из тепла электрический сигнал проходит через схему усиления и считывается. Таким образом удается идентифицировать импульсы тока микро- и наносекундной длительности с энергией импульса от 1 мкДж.

Как правило, в пироэлектрических конвертерах используются объемные монокристаллические образцы, имеющие пироэлектрические свойства, однако в последнее время с развитием технологии получения материалов, получают развитие двумерные и наноструктурированные пироэлектрические материалы. Так, например, в устройстве «Чувствительный элемент пироэлектрического преобразователя» (RU № 123221, публ. 20.12.2012) в качестве пироэлектрического элемента используется пленочный нанокомпозитный материал толщиной до 500 мкм, в котором сделана сетка равномерных отверстий диаметром до 1 мкм, заполненных другим пироэлектрическим материалом. Преимуществом такой композиции является повышенная чувствительность на очень слабые потоки тепла. Другой пример, в работе Pandya, S., Wilbur, J., Kim, J. et al. Pyroelectric energy conversion with large energy and power density in relaxor ferroelectric thin films. Nature Mater 17, 432-438, 2018 представлена пироэлектрическая пленка толщиной 150 нм с рекордными значениями плотности конвертируемой энергии и коэффициента полезного действия, однако технологическая сложность массового изготовления таких образцов пока затрудняет распространение таких пироэлектрических материалов.

Общим недостатком всех известных устройств является отсутствие в геометрии устройства учета наиболее оптимальных режимов изменения температуры, при которых

генерируемый пироэлектрический ток будет максимален. По сути, в предлагаемых устройствах используется только общий принцип пироэлектрического эффекта, без привязки к конкретному закону изменения температуры, что не позволяет быть предлагаемым устройствам максимально эффективными.

5 Наиболее близким к предлагаемому устройству является «Пьезопироэлектрический преобразователь энергии» (US № 5644184, публ. 01.07.1997). Данное устройство включает в себя: пластины пироэлектрического материала, термо- и электропроводящие электроды, расположенных на заряжающихся поверхностях пироэлектрического материала, холодный и горячий радиатор с возможностью теплового контакта с  
10 электродами, конденсатор для сбора заряда с цепи и разрядки во внешнюю цепь потребления. Дополнительно для инициации пьезоэлектрического эффекта устройство может быть дополнено электрической цепью для приложения к пластинам электрического поля определенной частоты. Генерация электрического заряда осуществляется за счет контакта электродов попеременно с холодным и горячим  
15 радиатором, что приводит к изменению температуры пироэлектрического материала и к пироэлектрическому эффекту. Индукция заряда на противоположных поверхностях приводит к току в цепи и зарядке конденсатора. Смена направления изменения температуры приводит к изменению направления тока и постепенной разрядке конденсатора во внешнюю цепь, затем конденсатор снова начинает заряжаться.

20 Недостатками данного устройства является отсутствие конкретного закона изменения температуры пироэлектрического материала, необходимость передвижения холодного и горячего радиаторов от и к электродам, что усложняет работу устройства.

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое техническое решение, является создание устройства, которое позволяет конвертировать тепловой поток, подводимый  
25 к пироэлектрическому материалу, в электричество с максимальной эффективностью.

Поставленная задача решается с помощью предлагаемого устройства в котором пироэлектрический материал выполнен в виде пластины, поперечные размеры которой больше ее толщины, токопроводящие электроды расположены на противоположных полярных поверхностях пироэлектрического материала, с одной из сторон  
30 пироэлектрического материала к токопроводящему электроду прикреплен термоэлектрический модуль площадь которого равна площади пироэлектрического материала и токопроводящего электрода, кроме того, максимальная амплитуда генерируемого тока обеспечивается сочетанием толщины пироэлектрического материала и частоты периодического варьирования температуры пироэлектрического материала.

35 Указанная совокупность существенных признаков обеспечивает решение поставленной задачи таким образом, что при периодическом варьировании температуры пироэлектрического кристалла с определенной частотой в каждой термической фазе (нагрев или охлаждение) осуществляется генерация электрического тока, при помощи которого осуществляется зарядка внешнего конденсатора в течение каждой из фаз, а  
40 при смене фаз (когда пироэлектрический ток равен нулю или очень мал) или параллельно с зарядкой происходит разрядка конденсатора во внешнюю цепь, в которой накопленная электрическая энергия используется в зависимости от поставленной задачи.

Предлагаемое устройство отличается от прототипа (US № 5644184, публ. 01.07.1997) тем, что используется единый термоэлектрический модуль, который закреплен на одной  
45 из сторон пироэлектрического материала к электроду, вместо пары радиаторов через тепловой контакт с которыми и осуществляется изменение температуры в прототипе. Кроме того, толщина пироэлектрического материала и частота периодического варьирования сочетается таким образом, чтобы амплитуда генерируемого тока была

максимальна. Тем самым обеспечивается наиболее эффективное использование пирозлектрического эффекта для генерации электричества.

Преимущество предлагаемого устройства заключается в генерации пирозлектрического тока максимальной амплитуды за счет строго определенного закона варьирования температуры пирозлектрического материала и за счет подбора 5 толщины материала под частоту варьирования температуры.

Технический результат предлагаемой полезной модели заключается в максимально эффективной генерации электрического тока за счет использования эффекта максимума амплитуды пирозлектрического тока при оптимальной частоте варьирования 10 температуры для выбранной толщины пирозлектрического материала.

Изобретение поясняется чертежами.

Фиг. 1 - общий вид устройства.

Фиг. 2 - соотношение оптимальной частоты варьирования и толщины пирозлектрического материала (ниобат лития) для использования в устройстве.

Предлагаемое устройство состоит из пирозлектрического материала 1, токопроводящих электродов 2, термоэлектрического модуля 3 и конденсатора для 15 сбора заряда и разрядки во внешнюю цепь 4.

Пирозлектрический материал 1 (например, ниобат лития,  $\text{LiNbO}_3$ ), исполненный в виде пластины, где его поперечные размеры намного больше его толщины, имеет два 20 токопроводящих электрода 2, которые могут быть исполнены в виде металлической фольги или в виде напыленной пленки (предпочтительный материал - алюминий или медь) и покрывают две противоположные полярные поверхности пирозлектрического материала. С одной из сторон пирозлектрического материала к токопроводящему электроду прикреплен термоэлектрический модуль 3 (например, элемент Пельтье) 25 площадь которого равна площади пирозлектрического материала и токопроводящего электрода. (На Фиг. 1 площадь токопроводящих электродов больше для наглядности.) Термоэлектрический модуль способен нагревать и охлаждать пирозлектрический материал по периодическому закону варьирования температуры с заданной амплитудой и частотой варьирования по формуле:

$$T(t) = T_0 + T_1 \sin(2\pi\nu t) \quad (1)$$

где  $T_0$  - начальная температура,  $T_1$  - амплитуда варьирования температуры,  $\nu$  - частота варьирования температуры. В ходе изменения температуры в каждую термическую фазу (нагрев или охлаждение) происходит генерация разноименного 35 заряда на двух противоположных поверхностях пирозлектрического материала. Подключение двух токопроводящих электродов в единую цепь с конденсатором 4 позволяет осуществлять зарядку конденсатора за счет пирозлектрического тока. Когда происходит смена термических фаз, генерация пирозлектрического тока становится пренебрежимо малой и происходит разрядка конденсатора 4 только во внешнюю цепь, 40 за счет того, что сопротивление в цепи пирозлектрического материала и токопроводящих электродов очень велико (минимум  $10^{10}$  Ом) по сравнению со сопротивлением внешней цепи. В следующей термической фазе снова происходит зарядка конденсатора, который разряжается во внешнюю цепь при следующей смене термической фазы. Таким образом происходит генерация электрической энергии в предлагаемом устройстве. Возможен 45 вариант, когда зарядка и разрядка конденсатора происходит одновременно, данный процесс может регулироваться потребностями внешней цепи.

Возможно масштабируемое исполнение устройства, при котором на одном термоэлектрическом модуле большой площади располагается множество

пироэлектрических материалов, которые могут быть соединены в единую цепь с внешним конденсатором (системой конденсаторов) для получения большего количества электрической энергии.

Стоит отметить, что толщина пироэлектрического материала и частота варьирования температуры подбираются заранее, чтобы обеспечить максимально эффективную конверсию подводимого тепла в электричества (благодаря эффекту максимальной амплитуды пироэлектрического тока в определенном диапазоне частот варьирования температуры, описанном теоретически и экспериментально в работе А. Oleinik, М. Gilts, Р. Karataev, et al., J. Appl. Phys. 132, 204101 (2022)). Соотношение между оптимальной частотой  $f_{opt}$  и толщиной материала  $d$  можно определить как:

$$f_{opt} = Ae^{(-d/B)} \quad (2)$$

где  $A$  и  $B$  - константы, имеющие размерности обратной времени и длины, соответственно, и зависящие от коэффициента температуропроводности материала. На Фиг. 2 представлена данная зависимость для монокристалла ниобата лития ( $LiNbO_3$ ), производства Кольского научного центра РАН (Россия).

Пример конкретного использования: для осуществления работы устройства используется монокристалл ниобата лития толщиной 1 мм в качестве пироэлектрического материала. Соответствующая частота варьирования температуры - 13 мГц (согласно Фиг. 2). Габариты полярных поверхностей пироэлектрического материала - 20×20 мм. Вся площадь полярных поверхностей покрыта токопроводящими электродами из алюминиевой фольги толщиной 50 мкм и такой же площади, как у полярных поверхностей пироэлектрического материала. К одной из сторон к пироэлектрическому материалу и токопроводящему электроду приклеен термоэлектрический модуль, который запрограммирован на изменение выделяемой и поглощаемой мощности с амплитудой 1 Вт и частотой 13 мГц (что приводит к варьированию температуры пироэлектрического материала с размахом амплитуды около 20°C). Конденсатор емкостью 600 нФ подключен к токопроводящим электродам и к внешней цепи потребления, которая включает в себя микроконтроллер nanoWatt XLP с ультрамалым потреблением энергии, который может основой преобразователя сигналов от различных сенсоров (например температуры, состава газа и т.д.). Предлагаемое устройство может обеспечить передачу энергии с мощностью до 30 нВт в режиме одновременной зарядки-разрядки конденсатора, что достаточно для питания микроконтроллера.

Еще один пример конкретного осуществления, для осуществления работы используется монокристалл ниобата лития толщиной 4 мм в качестве пироэлектрического материала. Соответствующая частота варьирования температуры - 10 мГц (согласно Фиг. 2). Габариты полярных поверхностей пироэлектрического материала - 40×40 мм. Вся площадь полярных поверхностей покрыта токопроводящими электродами из алюминиевой фольги толщиной 50 мкм и такой же площади, как у полярных поверхностей пироэлектрического материала. К одной из сторон к пироэлектрическому материалу и токопроводящему электроду приклеен термоэлектрический модуль, который запрограммирован на изменение выделяемой и поглощаемой мощности с амплитудой 3 Вт и частотой 10 мГц (что приводит к варьированию температуры пироэлектрического материала с размахом амплитуды около 14°C). Вместо конденсатора в цепи используется батарея LiPo 081831 с емкостью 8 мАч (которая как правило используется для питания автономных и малоразмерных

(100-1000 мкм) сенсоров. При потреблении мощности 200 нВт, предлагаемое устройство будет поддерживать постоянную емкость батареи без необходимости ее замены.

Предлагаемое устройство найдет применение для генерации электрической энергии и конверсии тепловой энергии в электрическую в качестве зарядного устройства для 5 батарей малой емкости (менее 10 мА×ч) или в качестве источника питания ультрамаломощных устройств (менее 1 мкВт) в условиях дефицита сетевой электроэнергии, ограниченной доступности электроэнергии, а также в условиях периодических температурных модуляции окружающей среды.

10 (57) Формула полезной модели

Пироэлектрический конвертер тепловой энергии в электрическую, содержащий пироэлектрический материал, токопроводящие электроды, термоэлектрический модуль, конденсатор для сбора заряда и разрядки во внешнюю цепь, отличающийся тем, что 15 пироэлектрический материал выполнен в виде пластины, поперечные размеры которой больше ее толщины, токопроводящие электроды расположены на противоположных полярных поверхностях пироэлектрического материала, с одной из сторон пироэлектрического материала к токопроводящему электроду прикреплен термоэлектрический модуль, площадь которого равна площади пироэлектрического материала и токопроводящего электрода, кроме того, максимальная амплитуда 20 генерируемого тока обеспечивается сочетанием толщины пироэлектрического материала и частоты периодического варьирования температуры пироэлектрического материала.

25

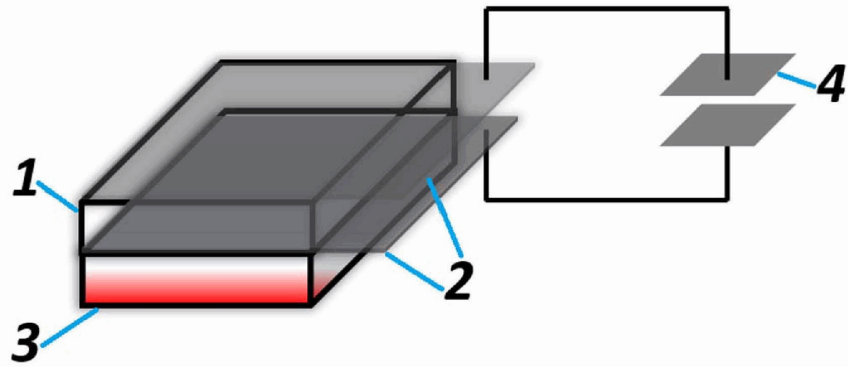
30

35

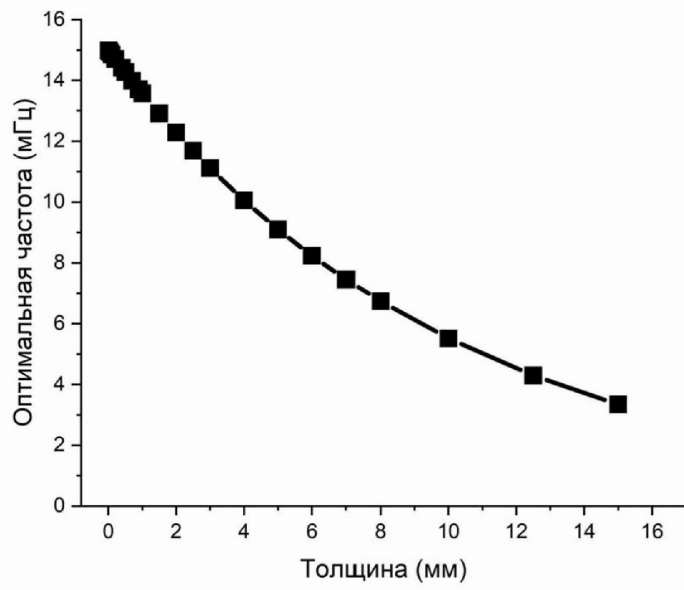
40

45





Фиг. 1



Фиг. 2