

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В  
СООТВЕТСТВИИ С ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) Всемирная Организация  
Интеллектуальной Собственности  
Международное бюро



(10) Номер международной публикации  
**WO 2020/197525 A1**

(43) Дата международной публикации  
01 октября 2020 (01.10.2020)

- (51) Международная патентная классификация :  
*H01L 35/12* (2006.01) *H01L 35/28* (2006.01)
- (21) Номер международной заявки : PCT/UA20 19/000054
- (22) Дата международной подачи :  
10 мая 2019 (10.05.2019)
- (25) Язык подачи : Русский
- (26) Язык публикации : Русский
- (30) Данные о приоритете :  
а 2019 02946 26 марта 2019 (26.03.2019) UA
- (72) Изобретатель ; и
- (71) Заявитель : ХВОРОСТЯНИЙ , Андрей Дмитриевич  
(**KHVOROSTIANYI, Andrii Dmytrovych**) [UA/UA];  
прову лок Пролетарський , буд . 23, м . Умань , Черкаська  
обл . , 20301, т . Уман (UA).
- (72) Изобретатель : ГЕНСЕЛ , Андреас (**GENSEL, Andreas**);  
Кеглерштрассе 4а, Вендельптейн , , 90530,  
Wendelstein (DE).
- (74) Агент : НИЗОВАЯ , Инна Александровна (**NYZOVA, Inna Oleksandrivna**);  
вул . Чаривна , буд . 103, кв . 94, м .  
Запоріжжя , 69071, м . Zaporizhzhya (UA).

- (81) Указанные государства (если не указано иначе, для каждого вида национальной охраны) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ш , IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Указанные государства (если не указано иначе, для каждого вида региональной охраны) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Опубликована :  
— с отчётом о международном поиске (статья 21.3)

(54) Title: SEMICONDUCTOR THERMOELECTRIC GENERATOR

(54) Название изобретения : ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР

(57) Abstract: The invention relates to thermoelectric generators, and more particularly to thermoelectric generators functioning on the thermoelectric properties of graded-gap structures, i.e. the properties of graded-gap semiconductors with alternating dopants and of heterojunctions therebetween, as well as on the properties of intrinsic semiconductor materials, and can be used, inter alia, for powering domestic electric appliances and charging power-supply elements of portable electronic devices. The present semiconductor thermoelectric generator comprises a semiconductor assembly configured to be capable of extracting heat from the surrounding environment, said semiconductor assembly containing at least one pair of interconnected graded-gap semiconductors, wherein a wide-gap side of at least one graded-gap semiconductor is connected to a narrow-gap side of at least one other graded-gap semiconductor. The junction between the graded-gap semiconductors is configured using an intrinsic semiconductor material and the graded-gap semiconductors are configured using alternating dopants, wherein the wide-gap sides of pairwise-connected graded-gap semiconductors are doped with an acceptor impurity. The technical result of the claimed invention consists in improving the efficiency, power and output of a thermoelectric generator and expanding the functionality thereof.

(57) Реферат : Изобретение относится к термоэлектрическим генераторам , а именно к термоэлектрическим генераторам , использующим в своей работе термоэлектрические свойства варизонных структур , то есть свойства варизонных полупроводников с переменным легированием и гетеропереходов между ними , а также свойства полупроводниковых материалов с собственной проводимостью , и может быть использовано для питания бытовых электроприборов , зарядки элементов питания переносных электронных устройств или другого . Полупроводниковый термоэлектрический генератор , который включает выполненный с возможностью отбора тепла из окружающей среды полупроводниковый блок , содержащий , по меньшей мере , одну пару соединённых между собой варизонных полупроводников , при этом широкозонная сторона , по меньшей мере , одного варизонного полупроводника соединена с узкозонной стороной , по меньшей мере , одного другого варизонного полупроводника . Место соединения варизонных полупроводников выполнено с полупроводниковым материалом с собственной проводимостью , варизонные полупроводники выполнены с переменным легированием , при этом широкозонные стороны парно соединённых варизонных полупроводников легированы акцепторной примесью . Техническим результатом заявлено - го изобретения является повышение эффективности , мощности и производительности термоэлектрического генератора с расширением его функциональности .



WO 2020/197525 A1

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР

Изобретение относится к термоэлектрическим генераторам, а именно к термоэлектрическим генераторам, использующим в своей работе термоэлектрические свойства варизонных структур, то есть свойства варизонных полупроводников с переменным легированием и гетеропереходов между ними, а также свойства полупроводниковых материалов с собственной проводимостью, и может быть использовано для питания бытовых электроприборов, зарядки элементов питания переносных электронных устройств или другого.

Из уровня техники известен термоэлемент (патент RU 2248647 C2, МПК H01L 35/08, опубликован 20.03.2005 г., Бюл. N 8) выполненный, по меньшей мере, с одним n-слоем и, по меньшей мере, с одним p-слоем одного или нескольких примесных полупроводников, при этом n-слой (слои) и p-слой (слои) расположены таким образом, что образуют, по меньшей мере, один p-n переход, причем, по меньшей мере, один n-слой и, по меньшей мере, один p-слой селективно контактируют электрически, а градиент температур прилагается или снимается параллельно граничному слою между, по меньшей мере, одним n- и p-слоем, при этом, по меньшей мере, один p-n переход образован, по существу, вдоль общей преимущественно наиболее длинной протяженности n-слоя (слоев) и p-слоя (слоев) и тем самым, по существу, вдоль их общего граничного слоя.

Недостатками известного аналога является низкая эффективность, мощность, производительность, ненадежность, ограниченная функциональность, которые обусловлены его конструкцией, в частности выполнением полупроводников однородно легированными и без градиента ширины запрещенной зоны, а также селективным контактом полупроводников через граничный слой, который, по сути, содержит проводник.

Известный аналог низкую эффективность, мощность и производительность, поскольку использование однородно легированных полупроводников, выполненных без градиента ширины запрещенной зоны, не позволяет получить ток достаточной мощности для питания большинства бытовых электроприборов, быстрой зарядки элементов питания переносных электронных устройств из-за небольшой разности квазиуровней Ферми полупроводников и ограниченного количества генерируемых электронно-дырочных пар. Несмотря на то, что в известном аналоге имеется p-n переход между полупроводниками, использование проводниковых материалов в граничном слое снижает количество генерируемого тока, поскольку проводники, такие как золото, используемое в варианте исполнения известного аналога для контакта полупроводников, не имеют запрещенной зоны. Недостаточная мощность генерируемого тока, в свою очередь, ограничивает функциональность известного аналога, поскольку ограничивает круг устройств, которые он может питать или заряжать:

Градиент легирования полупроводников примесью одного типа, имеющийся в одном из вариантов выполнения известного аналога, не позволяет достичь существенного повышения КПД, увеличения количества электронов и дырок, которые генерируют электрический ток в термоэлектрических процессах, и, соответственно, повышения мощности термоэлемента в целом, поскольку диффузионный и дрейфовый ток, возникающие в полупроводниках, требуют движения как основных, так и не основных носителей заряда.

Также известен генератор энергии для транспортного средства (патент US 2017211450 A1, МПК: F01N 5/02, H01L 35/22, H01L 35/30, H01L 35/32, опубликован 27.07.2017 г.), который включает термоэлектрический преобразователь, включающий полупроводник p-типа, полупроводник n-типа, расположенный между ними и полупроводник с собственной проводимостью, при этом ширина запрещенной зоны полупроводника с собственной проводимостью ниже ширины запрещенных зон

полупроводника  $n$ -типа и полупроводника  $p$ -типа, а также включает канал для прохождения текучего теплоносителя, выполненный с возможностью подачи тепла в термоэлектрический преобразователь, при этом термоэлектрический преобразователь установлен относительно канала с теплоносителем таким образом, что поверхность полупроводника с собственной проводимостью перпендикулярна потоку теплоносителя.

Недостатками известного аналога является низкая эффективность, мощность, производительность и ограниченная функциональность, которые обусловлены конструкцией его термоэлектрического преобразователя, а именно выполнением полупроводников (без градиента ширины запрещенной зоны).

Известный аналог имеет низкую эффективность, мощность и производительность, поскольку использование однородно легированных полупроводников, выполненных без градиента ширины запрещенной зоны, не позволяет получить ток достаточной мощности для питания большинства бытовых электроприборов, быстрой зарядки элементов питания переносных электронных устройств из-за небольшой разности квазиуровней Ферми полупроводников и ограниченного количества генерируемых электронно-дырочных пар. Несмотря на наличие полупроводника с собственной проводимостью, который расположен между полупроводником  $n$ -типа и полупроводником  $p$ -типа и является источником дополнительных электронов, количество тока, который генерирует известный аналог, в том числе благодаря наличию  $p$ - $n$  перехода, является ограниченным, что соответственно ограничивает его функциональность, поскольку известный аналог может быть использован только для зарядки или питания ограниченного круга устройств в.

Ближайшим аналогом заявляемого изобретения является термоэлектрический генератор (патент UA 1185066 C2, МПК C30D 11/00), опубликован 25.01.2019 г., Бюл. № 2), включающий и выполненный с возможностью отбора тепла из окружающей среды полупроводниковый

5 блок. Термоэлектрический генератор содержит, по меньшей мере, одну пару соединённых между собой варизонных полупроводников, состоящую из варизонного полупроводника p-типа и варизонного полупроводника n-типа, при этом широкозонная сторона p, по меньшей мере, одного варизонного полупроводника p-типа соединена с узкозонной стороной n, по меньшей мере, одного варизонного полупроводника n-типа, а при наличии ещё, по меньшей мере, одной пары варизонных полупроводников широкозонная сторона n, меньшей мере, одного варизонного полупроводника n-типа соединена с узкозонной стороной p, по меньшей мере, одного варизонного полупроводника p-типа.

10 Несмотря на многочисленные преимущества ближайшего аналога, такие как повышенный КПД, отсутствие потребности в поддержании разницы температур на контактах полупроводников, экономичность использования, простота конструкции и использования, удешевление процесса производства, расширенная функциональность и область использования, обусловленные использованием варизонных полупроводников и гетеропереходов между ними, взаимным расположением варизонных полупроводников, в частности их широкозонных и узкозонных сторон, для ближайшего аналога характерна недостаточная, большая производительность на единицу площади, поскольку варизонные полупроводники ближайшего аналога являются однородно легированными, то есть, содержащими (либо) акцепторные, либо) донорные примеси, что уменьшает разность, квазиуровней Ферми варизонных полупроводников, и ограничивает генерирование электронно-дырочных пар.

20 Кроме того, ближайший аналог не содержит полупроводниковых материалов с собственной проводимостью, что также ограничивает генерирование электронно-дырочных пар в термоэлектрических процессах, которые происходят во время функционирования ближайшего аналога, и тем самым ограничивает мощность диффузионного и дрейфового токов. В свою очередь, сниженная производительность в ближайшего аналога, которая является следствием конструктивных особенностей его полупроводникового

30

блока, вызывает потребность в увеличении площади варизонных полупроводников и контактных элементов, увеличение габаритных размеров термоэлектрического генератора в целом, что затрудняет использование ближайшего аналога и приводит к повышенным затратам материалов.

5 Технической задачей заявленного изобретения является создание нового полупроводникового термоэлектрического генератора, который характеризуется повышенной эффективностью, мощностью, производительностью и расширенной функциональностью.

10 Решение поставленной технической задачи достигается тем, что в полупроводниковом термоэлектрическом генераторе, который включает выполненный с возможностью отбора тепла из окружающей среды полупроводниковый блок, содержащий, по меньшей мере, одну пару соединённых между собой варизонных полупроводников, при этом широкозонная сторона, по меньшей мере, одного варизонного

15 полупроводника соединена с узкозонной стороной, по меньшей мере, одного другого варизонного полупроводника, согласно предложению, место соединения варизонных полупроводников выполнено с полупроводниковым материалом с собственной проводимостью, а оба варизонных полупроводника выполнены с переменным легированием, при этом

20 широкозонные стороны, по меньшей мере, одной пары варизонных полупроводников легированы акцепторной примесью.

25 Вместе с тем, согласно предложению, краевая часть узкозонной стороны одного из варизонных полупроводников, расположенная в месте соединения варизонных полупроводников, выполнена из полупроводникового материала с собственной проводимостью.

Кроме того, согласно предложению, в месте соединения варизонных полупроводников имеется промежуточный слой полупроводникового материала с собственной проводимостью, через который они соединены.

Также, согласно предложению, внешние поверхности полупроводникового блока выполнены соомическими контактами и к каждой внешней поверхности полупроводникового блока присоединено по выводу.

5 Вместе с тем, согласно предложению, на внешних поверхностях полупроводникового блока, выполненных соомическими контактами, закреплены контактные элементы, выполненные с возможностью отбора тепла из теплоносителя, и к каждой внешней поверхности полупроводникового блока присоединено по выводу.

10 Кроме того, согласно предложению, полупроводниковый блок включает пару варизонных полупроводников, каждый из которых имеет широкозонную сторону  $Si_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $Ge_n$ , которая содержит германий с собственной проводимостью, при этом узкозонная сторона  $Ge_n$  одного варизонного полупроводника соединена с широкозонной стороной  $Si_p$  другого варизонного полупроводника, а к не соединённым между собой сторонам варизонных полупроводников, которые являются внешними поверхностями полупроводникового блока, присоединены выводы и на указанных внешних поверхностях выполнены соомические контакты:

20 Вместе с тем, согласно предложению, полупроводниковый блок включает пару варизонных полупроводников, один из которых имеет широкозонную сторону  $Si_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $Ge_n$ , которая содержит германий с донорной примесью, другой варизонный полупроводник имеет широкозонную сторону  $Si_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $Ge_n$ , которая содержит германий с собственной проводимостью, между узкозонной стороной  $Ge_n$  одного варизонного полупроводника и широкозонной стороной  $Si_p$  другого варизонного полупроводника расположен промежуточный слой германия  $Ge_i$  с собственной проводимостью, через который варизонные полупроводники соединены, а к не соединённым с промежуточным слоем сторонам

25

30

варизонных полупроводников, которые являются внешними поверхностями полупроводникового блока, присоединены выводы и на указанных внешних поверхностях выполнены омические контакты.

Кроме того, согласно предложению, полупроводниковый блок включает пару варизонных полупроводников, каждый из которых имеет широкозонную сторону  $\text{Si}_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $\text{Ge}_n$ , которая содержит германий с донорной примесью, при этом между узкозонной стороной  $\text{Ge}_n$  одного варизонного полупроводника и широкозонной стороной  $\text{Si}_p$  другого варизонного полупроводника расположен промежуточный слой германия  $\text{Ge}_i$  с собственной проводимостью, через который варизонные полупроводники соединены, а к не соединённым с промежуточным слоем сторонам варизонных полупроводников, которые являются внешними поверхностями полупроводникового блока, присоединены выводы и на указанных наружных поверхностях выполнены омические контакты.

Техническим результатом заявленного изобретения является повышение эффективности, мощности и производительности с расширением его функциональности.

Причинно-следственная связь между существенными признаками изобретения и ожидаемым техническим результатом заключается в следующем.

В совокупности существенных признаков заявленного изобретения обеспечивается указанный выше технический результат за счёт совершенствования конструкции полупроводникового блока, а именно выполнения полупроводникового блока с местом соединения варизонных полупроводников, которое выполнено с полупроводниковым материалом с собственной проводимостью, варизонными полупроводниками, широкозонные стороны которых легированы акцепторными примесями, а узкозонные стороны легированы донорными примесями или выполнены из полупроводникового материала с собственной проводимостью.

Заявленный полупроводниковый термоэлектрический генератор имеет повышенную эффективность, мощность и производительность по следующим причинам.

- Вследствие выполнения полупроводников варизонными, то есть из химических элементов или их соединений, имеющих неодинаковую ширину запрещенной зоны, в каждом из полупроводников полупроводникового блока имеется широкозонная сторона, содержащая химический элемент или соединение, который имеет большую ширину запрещенной зоны, и узкозонная сторона, содержащая химический элемент или соединение, который имеет ширину запрещенной зоны меньше ширины соответствующего материала широкозонной стороны. При этом вследствие варизонного характера полупроводника ширина запрещенной зоны постепенно уменьшается вместе с постепенным изменением в химическом составе полупроводника в одном направлении, от широкозонной стороны к узкозонной стороне. Такое выполнение полупроводников вместе с переменным легированием и выполнением широкозонной стороны с акцепторной примесью позволяет при нагревании контактных поверхностей химических контактов окружающей средой или теплоносителем и при последующем равномерном нагреве варизонных полупроводников получить электродвижущую силу, которая перемещает свободные носители заряда от узкозонных сторон варизонных полупроводников, где концентрация указанных носителей заряда выше, в широкозонным сторонам варизонных полупроводников, где концентрация указанных носителей заряда ниже.
- Таким образом, в варизонных полупроводниках возникает диффузионный и электрический ток в направлении от узкозонной стороны, которая имеет высокую концентрацию свободных носителей заряда, к широкозонной стороне, которая имеет более низкую концентрацию носителей заряда. При этом переменное легирование значительно усиливает электродвижущую силу, поскольку вследствие выравнивания квазиуровней Ферми и между сторонами и варизонного полупроводника, легированного

указанным образом, возникает встроенное поле, совпадающее с полем вызванным вваризонностью полупроводника, что приводит к усилению последнего, а также обеспечивает стороны вваризонного полупроводника необходимым количеством основных и неосновных носителей заряда.

5 Вследствие возникновения указанного диффузионного тока в противоположных частях вваризонных полупроводников возникают объемные заряды, что приводит к возникновению дрейфового тока, который имеет направление, противоположное направлению диффузионного тока.

10 Вместе с тем указанное выше выполнение полупроводникового блока и вваризонных полупроводников приводит к возникновению обратного напряжения, смещению гетероперехода, появлению теплового тока и тока термогенерации в месте соединения вваризонных полупроводников, котором образован гетеропереход. Таким образом, происходит движение неосновных носителей заряда через гетеропереход. При этом электродвижущая сила, 15 которая возникает в вваризонных полупроводниках, способствует движению неосновных носителей заряда через гетеропереход и от узкозонной стороны вваризонных полупроводников в широкозонным сторонам полупроводников с их превращением в основные носители заряда и усилением диффузионного и дрейфового тока в вваризонных полупроводниках.

20 При этом материал с собственной проводимостью, расположенный в месте соединения вваризонных полупроводников, является источником носителей заряда, как электронов, так и дырок, в количестве, необходимом для поддержания усиленного тока термогенерации в гетеропереходе.

25 Таким образом, совокупный ток, производимый заявленным полупроводниковым термоэлектрическим генератором, состоит из диффузионного и дрейфового тока в вваризонных полупроводниках, теплового тока и тока термогенерации в гетеропереходе, расположенном в месте соединения вваризонных полупроводников, и является более мощным, чем дрейфовый и диффузный ток, которые производит ближайший аналог, 30 при одинаковых или меньших габаритных размерах и площади вваризонных

- проводников, что свидетельствует о повышении эффективности термоэлектрического генератора и его производительности на единицу площади. Повышенная мощность тока в свою очередь позволяет расширить функциональность и область использования заявленного полупроводникового термоэлектрического генератора, поскольку позволяет заряжать или питать устройства, которые требуют соответственно более мощных источников тока, что позволяет использовать заявленный термоэлектрический генератор в случаях, в которых использование ближайшего аналога и любых других подобных термоэлектрических генераторов является невозможным.
- Повышение КПД заявленного термоэлектрического генератора достигается за счет того, что при указанном выше выполнении полупроводникового блока для получения тока не используются эффект Зеебека, что, в свою очередь, устраняет потребность в затратах энергии на поддержание разницы температур на контактах полупроводников и одновременный нагрев и охлаждение полупроводников, а также потребность в использовании сложного оборудования для указанных выше операций: Фактически для эффективной работы заявленного термоэлектрического генератора необходимо, нагревать, только внешние поверхности полупроводникового блока, что, может быть, осуществлено путём простого контакта указанных составляющих элементов с излучением в окружающей среде, или нагретым теплоносителем, таким как воздух или вода, причём такое нагревание, может быть, побочным эффектом работы другого устройства, например, котла или солнечного коллектора. При этом большая часть тепловой энергии, которая нагревает контактные поверхности омических контактов, переходит в тепловое движение носителей заряда в варизонных полупроводниках, а тепловая энергия, которую выделяет термоэлектрический генератор в процессе работы, рассеивается в закрытом объеме с теплоносителем и может быть использована для нагрева контактных поверхностей омических контактов в.

При этом повышается удобство и упрощается использование заявленного термоэлектрического генератора благодаря уменьшению габаритных размеров полупроводникового термоэлектрического генератора, в частности, его площади, поскольку для генерирования мощного тока достаточно термоэлектрического генератора с варизонными полупроводниками небольшой площади или совокупности таких термоэлектрических генераторов, установленных параллельно.

Выполнение наружных поверхностей полупроводникового блока с омическими контактами позволяет уменьшить потенциальный барьер между полупроводником и металлом омического контакта, что уменьшает затраты электродвижущей силы на преодоление указанного барьера носителями заряда, что в свою очередь уменьшает затраты энергии и повышает производительность и эффективность заявленного термоэлектрического генератора. Присоединение к каждой внешней поверхности полупроводникового блока вывода необходимо для подключения заявленного термоэлектрического генератора к нагрузке; преобразователю ток-напряжение или другому подобному устройству и образования электрической цепи.

Закрепление на наружных поверхностях полупроводникового блока выполненных с омическими контактами контактных элементов, выполненных с возможностью отбора тепла из теплоносителя, повышает удобство использования заявленного термоэлектрического генератора, поскольку устраняет потребность в закреплении указанных контактных элементов на средствах и устройствах, которые содержат или переносят теплоноситель, и делает заявленный полупроводниковый термоэлектрический генератор готовым к установке в любое подходящее устройство или средство для переноса теплоносителя без выполнения дополнительных операций и соответствующих затрат времени.

Конструкция заявленного полупроводникового термоэлектрического генератора поясняется с помощью следующих изображений:

Фиг. 11 - Вид заявленного полупроводникового термоэлектрического генератора в варианте исполнения, в котором полупроводниковый блок включает пару варизонных полупроводников, каждый из которых имеет широкозонную сторону  $\text{Si}_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $\text{Ge}_n$ , которая содержит германий с собственной проводимостью, при этом узкозонная сторона  $\text{Ge}_n$  одного варизонного полупроводника соединена с широкозонной стороной  $\text{Si}_p$  другого варизонного полупроводника, а также соединённым между собой сторонам варизонных полупроводников, которые являются внешними поверхностями полупроводникового блока, присоединены выводы и на указанных внешних поверхностях выполнены омические контакты.

Фиг. 2 - Вид заявленного полупроводникового термоэлектрического генератора в варианте исполнения, в котором полупроводниковый блок включает пару варизонных полупроводников, один из которых имеет широкозонную сторону  $\text{Si}_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $\text{Ge}_n$ , которая содержит германий с донорной примесью, другой варизонный полупроводник имеет широкозонную сторону  $\text{Si}_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $\text{Ge}_i$ , которая содержит германий с собственной проводимостью, между узкозонной стороной  $\text{Ge}_n$  одного варизонного полупроводника и широкозонной стороной  $\text{Si}_p$  другого варизонного полупроводника расположен промежуточный слой германия  $\text{Ge}_i$  с собственной проводимостью, через который варизонные полупроводники соединены, а также соединены с промежуточным слоем сторонам варизонных полупроводников, которые являются внешними поверхностями полупроводникового блока, присоединены выводы и на указанных внешних поверхностях выполнены омические контакты.

Фиг. 3 - Вид заявленного полупроводникового термоэлектрического генератора в варианте исполнения, в котором полупроводниковый блок включает пару варизонных полупроводников, каждый из которых имеет

широкозонную сторону  $Si_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $Ge$ , которая содержит германий с донорной примесью, при этом между узкозонной стороной  $Ge_n$  одного варизонного полупроводника и широкозонной стороной  $Si_p$  другого варизонного полупроводника расположен промежуточный слой германия  $Ge_i$  с собственной проводимостью, через который варизонные полупроводники соединены, а к не соединённым с промежуточным слоем сторонам варизонных полупроводников, которые являются внешними поверхностями полупроводникового блока, присоединены выводы и на указанных наружных поверхностях выполнены омические контакты.

В изображениях использованы следующие условные обозначения:

$Si_p$  - широкозонная сторона варизонного полупроводника, состоящая из кремния с акцепторной примесью в варианте исполнения;

$Ge_i$  - узкозонная сторона варизонного полупроводника, состоящая из германия с собственной проводимостью в варианте исполнения;

$Ge_n$  - узкозонная сторона варизонного полупроводника, состоящая из германия с донорной примесью в варианте исполнения;

$Ge_i$  - промежуточный слой германия с собственной проводимости

—————→ - движение теплоносителя

-----→ - дрейфовый ток

⇒⇒⇒ - диффузионный ток

.....→ - тепловой ток

- - - - -→ - ток термогенерации  $I$

————— - выводы  $I$

На чертежах (схематично) изображены и преимущественные, но не исключительные варианты выполнения заявленного полупроводникового термоэлектрического генератора, который включает полупроводниковый блок 1, содержащий пару усоединённых варизонных полупроводников 2, два омических контакта 3 и два вывода 4. Кроме того, на чертежах упрощенно и схематично обозначены направления диффузионного  $I_{diff}$  и дрейфового  $I_{drift}$  тока,

тепловой ток и тока термогенерации, а также структура и материалы варизонных полупроводников 22.

5 Под термоэлектрическим генератором или термоэлектрогенератором, в данном случае, понимают устройство, которое осуществляет преобразование тепловой энергии в электрический ток.

10 В изображенных вариантах исполнения полупроводниковый блок 11 содержит соединенные в пару варизонные полупроводники 22, выполненные с переменным легированием. В предпочтительном варианте исполнения варизонные полупроводники 22 неразъемно соединены между собой или с промежуточным слоем 6 спаиванием, сращением или другим подобным способом, с образованием гетероперехода в месте соединения попарно соединенных варизонных полупроводников 22. Широкозонные стороны попарно соединенных варизонных полупроводников 22 выполнены с акцепторной примесью.

15 Место соединения варизонных полупроводников 22 выполнено с полупроводниковым материалом с собственной проводимостью. В варианте исполнения заявленного полупроводникового термоэлектрического генератора, изображенном на Фиг. 1 краевая часть узкозонной стороны одного из варизонных полупроводников 22, которая расположена в месте соединения варизонных полупроводников 22, выполнена из полупроводникового материала с собственной проводимостью. В вариантах исполнения заявленного полупроводникового термоэлектрического генератора, изображенных на Фиг. 2 и 3 в месте соединения варизонных полупроводников 22 имеется промежуточный слой 6, который выполнен из полупроводникового материала с собственной проводимостью и через который соединены варизонные полупроводники 22. Во всех указанных выше вариантах исполнения полупроводниковым материалом с собственной проводимостью является германий. Вместе с тем таким материалом может быть любой материал, который имеет ширину запрещенной зоны меньше

ширины запрещенной зоны широкозонных сторон варизонных полупроводников 22.

В преимущественном варианте выполнения, изображенном на Фиг. 1, каждый из варизонных полупроводников 22 состоит из широкозонной стороны  $Si_p$ , которая состоит из кремния, легированного акцепторной примесью, узкозонной стороны  $Ge_n$ , которая состоит из германия с собственной проводимостью, и промежуточной зоны между ними со смешанным химическим составом, в которой постепенно уменьшается содержание германия и увеличивается содержание кремния по направлению к широкозонной стороне.

В преимущественном варианте выполнения, изображенном на Фиг. 2, один из варизонных полупроводников 22 имеет широкозонную сторону  $Si_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $Ge_n$ , которая содержит германий с донорной примесью, другой варизонный полупроводник 22 - широкозонную сторону  $Si_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $Ge_n$ , а между узкозонной стороной  $Ge_n$  одного варизонного полупроводника 22 и широкозонной стороной  $Si_p$  другого варизонного полупроводника 22 расположен промежуточный слой б германия  $Ge_i$  с собственной проводимостью, через который соединены варизонные полупроводники 22.

В преимущественном варианте выполнения, изображенном на Фиг. 3, каждый из варизонных полупроводников 22 имеет широкозонную сторону  $Si_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $Ge_n$ , которая содержит германий с донорной примесью, при этом между узкозонной стороной  $Ge_n$  одного варизонного полупроводника 22 и широкозонной стороной  $Si_p$  другого варизонного полупроводника 22 расположен промежуточный слой б германия  $Ge_i$  с собственной проводимостью, через который соединены варизонные полупроводники 22.

Вместе с тем варизонные полупроводники 2 могут быть выполнены из любых полупроводниковых материалов, которые имеют разную ширину запрещённой зоны и могут быть объединены в варизонном полупроводнике с учётом изложенных выше условий. Также в предпочтительном исполнении акцепторной примесью для широкозонных сторон варизонных полупроводников 2 является трёхвалентный бор, а донорной примесью для узкозонных сторон варизонных полупроводников 2 в соответствующих вариантах исполнения является пятивалентный фосфор. Однако как акцепторная и донорная примеси могут быть использованы другие подобные материалы в соответствии с полупроводниковыми материалами, из которых состоят варизонные полупроводники 2.

В изображенных вариантах исполнения заявленного изобретения варизонные полупроводники 2 выполнены в виде пластин, и соединены в горизонтальной плоскости. Варизонные полупроводники 2 могут быть произведены методом жидкофазной эпитаксии, газофазной ионно-пучковой эпитаксии, диффузии или путём напыления германия и кремния на подложку из алюминия или никеля. Вместе с тем в качестве подложки могут быть использованы другие материалы, которые соответствуют свойствам материалов варизонных полупроводников 2.

Два омических контакта 3 выполнены на внешних поверхностях полупроводникового блока 1, которые являются внешними поверхностями варизонных полупроводников 2. В изображенном варианте исполнения омические контакты 3 представляют собой неразъёмно соединённые с внешними поверхностями 1 полупроводникового блока 1 горизонтально ориентированные пластины 4, которые в предпочтительном варианте исполнения выполнены из алюминия. Вместе с тем омические контакты 3 могут быть выполнены из другого материала, который обладает высокой теплопроводностью  $\rho$ , химической стойкостью  $\sigma$  и устойчивостью к действию высокой температуры  $\tau$ .

Два вывода 44 присоединены к узкозонной стороне одного варизонного полупроводника 22 и к широкозонной стороне другого варизонного полупроводников 22, внешние поверхности которых являются внешними поверхностями полупроводникового блока 11. В предпочтительном варианте выполнения выводы 44 присоединены к указанным поверхностям варизонных полупроводников 22 и соприкасаются с контактами 33 и покрыты изоляционным покрытием. Материалом металлических контактов выводов 44 может быть, например, медь или другие химические элементы с выраженными металлическими свойствами.

В изображенном варианте выполнения заявленный полупроводниковый термоэлектрический генератор расположен между двумя средствами переноса теплоносителя 5, по которым проходит жидкий или газообразный теплоноситель. Такими средствами переноса теплоносителя могут быть, например, трубы змеевика солнечного коллектора, составные части обогревательных устройств или другие подобные средства.

Заявленный полупроводниковый термоэлектрический генератор используют следующим образом.

Контакты выводов 44 подсоединяют, например, к преобразователю ток-напряжения, образуя электрическую цепь, и помещают заявленный полупроводниковый термоэлектрический генератор между средствами переноса теплоносителя 5; таким образом, чтобы омические контакты 33 вступали в непосредственный контакт с поверхностями средств для переноса теплоносителя 5 или контактными элементами, выполненными с возможностью отбора тепла из теплоносителя в соответствующем варианте выполнения заявленного термоэлектрического генератора. После этого теплоноситель, находящийся в указанных средствах для переноса 5, нагревают внешним источником тепла, например, с помощью топлива, газа или аккумулярованными солнечными лучами.

Тепловая энергия из теплоносителя проходит через омические контакты 33, через наружные поверхности полупроводникового блока 11 и равномерно

нагревает варизонные полупроводники 22, что запускает процесс работы  
 заявленного термоэлектрического генератора. Вследствие движения  
 носителей заряда между сторонами варизонных полупроводников 22 и через  
 образованный между варизонными полупроводниками 22 гетеропереход  
 5 возникают диффузионный ток, дрейфовый ток, тепловой ток и ток  
 термогенерации, причём направления диффузионного тока, тока  
 термогенерации и теплового тока совпадают.

Таким образом, в образованной электрической цепи появляется  
 электрический ток, который через выводы 4 направляется, например, к  
 10 преобразователю или преобразователям ток-напряжение и может быть  
 использован для питания бытовых электроприборов, технического  
 оборудования, зарядки элементов питания переносных электронных  
 устройств и прочего.

При этом нагревание теплоносителя 5 не требует больших затрат  
 15 энергии и сложного оборудования, а его интенсивность легко  
 контролируется пользователем заявленного полупроводникового  
 термоэлектрического генератора. Для прекращения работы заявленного  
 термоэлектрического генератора достаточно отсоединить провода выводов 4  
 от устройства, замыкающего электрическую цепь или прекратить нагревание  
 20 теплоносителя 5, или изъять заявленный полупроводниковый  
 термоэлектрический генератор из пространства между средствами для  
 переноса теплоносителя 5.

При этом следует учитывать, что каждый из трёх предпочтительных  
 вариантов выполнения заявленного полупроводникового  
 25 термоэлектрического генератора, указанных выше, имеет оптимальную  
 производительность при определённой температуре теплоносителя. Так  
 вариант заявленного полупроводникового термоэлектрического генератора,  
 изображенный на Фиг. 1, используют в случае, если температура  
 теплоносителя равна или выше температуры, при которой электроны  
 30 узкозонных сторон варизонных полупроводников 22 приобретают

необходимую энергию для превращения в носители заряда. Вариант заявленного полупроводникового термоэлектрического генератора, изображенный на фиг. 22, используют в случае, если температура теплоносителя равна или ниже температуры, при которой электроны узкозонных сторон варизонных полупроводников 22 приобретают необходимую энергию для превращения в носители заряда. Вариант заявленного полупроводникового термоэлектрического генератора, изображенный на фиг. 23, используют в случае, если температура теплоносителя существенно ниже температуры, при которой электроны узкозонных сторон варизонных полупроводников 23 приобретают необходимую энергию для превращения в носители заряда.

Также для увеличения мощности вырабатываемого тока, несколько заявленных термоэлектрических генераторов могут быть параллельно соединены через металлические контакты, расположенные между внешними поверхностями полупроводниковых блоков 1.

В существующих источниках патентной и научно-технической информации не обнаружен полупроводниковый термоэлектрический генератор, который имеет заявленную совокупность существенных признаков, поэтому представленное техническое решение соответствует критерию «новизна».

Сравнительный анализ вышеуказанного технического решения с наиболее близким аналогом, показал, что реализация совокупности существенных признаков, характеризующих предложенное изобретение, приводит к появлению качественно новых указанных выше технических свойств, совокупность которых не была установлена ранее из существующего уровня техники, что позволяет сделать вывод о соответствии предложенного технического решения критерию «изобретательский уровень».

Предложенное техническое решение промышленно применимо, так как не содержит в своем составе никаких конструктивных элементов и

материалов, которые невозможно воспроизвести на современном этапе развития техники в условиях промышленного производства.

5

## ФОРМУЛА

1. Полупроводниковый термоэлектрический генератор, который включает выполненный с возможностью отбора тепла из окружающей среды полупроводниковый блок, содержащий, по меньшей мере, одну пару соединённых между собой варизонных полупроводников, при этом широкозонная сторона, по меньшей мере, одного варизонного полупроводника соединена с узкозонной стороной, по меньшей мере, одного другого варизонного полупроводника, который отличается тем, что место соединения варизонных полупроводников выполнено с полупроводниковым материалом с собственной проводимостью, варизонные полупроводники выполнены с переменным легированием, при этом широкозонные стороны попарно соединённых варизонных полупроводников легированы акцепторной примесью.

2. Полупроводниковый термоэлектрический генератор по п. 1, который отличается тем, что краевая часть узкозонной стороны одного из варизонных полупроводников, расположенная в месте соединения варизонных полупроводников, выполнена из полупроводникового материала с собственной проводимостью.

3. Полупроводниковый термоэлектрический генератор по п. 1, который отличается тем, что в месте соединения варизонных полупроводников имеется промежуточный слой полупроводникового материала с собственной проводимостью, через который они соединены.

4. Полупроводниковый термоэлектрический генератор по п. 1, который отличается тем, что внешние поверхности полупроводникового блока выполнены с омическими контактами и к каждой внешней поверхности полупроводникового блока присоединено по выводу.

5. Полупроводниковый термоэлектрический генератор по п. 1, который отличается тем, что на внешних поверхностях полупроводникового блока, выполненных с омическими контактами,

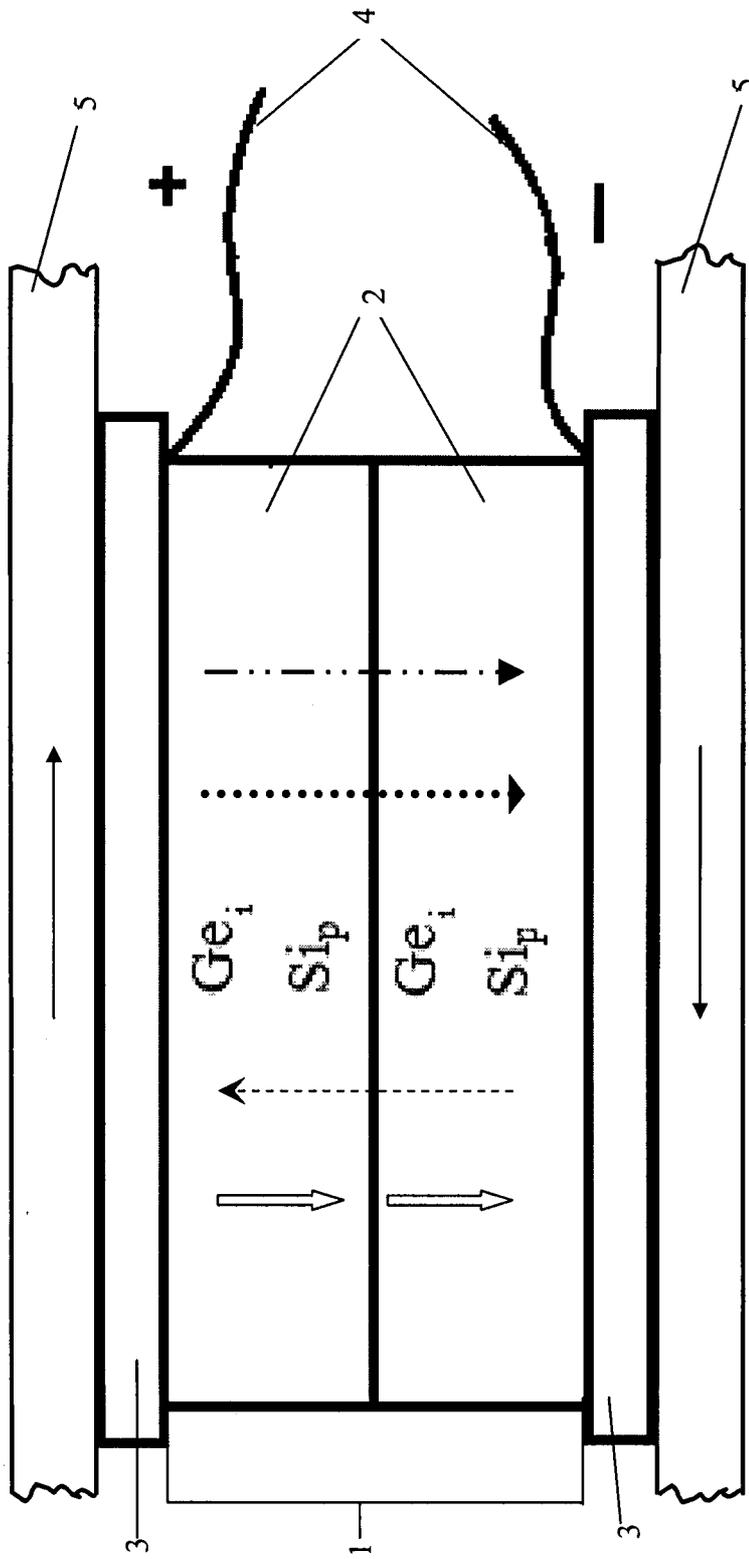
закреплены контактные элементы, выполненные с возможностью отбора тепла из теплоносителя, и к каждой внешней поверхности полупроводникового блока присоединено по выводу,

5 б). Полупроводниковый термоэлектрический генератор по п. 1, который отличается тем, что полупроводниковый блок включает пару варизонных полупроводников, каждый из которых имеет широкозонную сторону  $Si_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $Ge_n$ , которая содержит германий с собственной проводимостью, при этом узкозонная сторона  $Ge_n$  одного варизонного полупроводника соединена с широкозонной стороной  $Si_p$  10 другого варизонного полупроводника, а к не соединённым между собой сторонам варизонных полупроводников, которые являются внешними поверхностями полупроводникового блока, присоединены выводы и на указанных внешних поверхностях выполнены омические контакты.

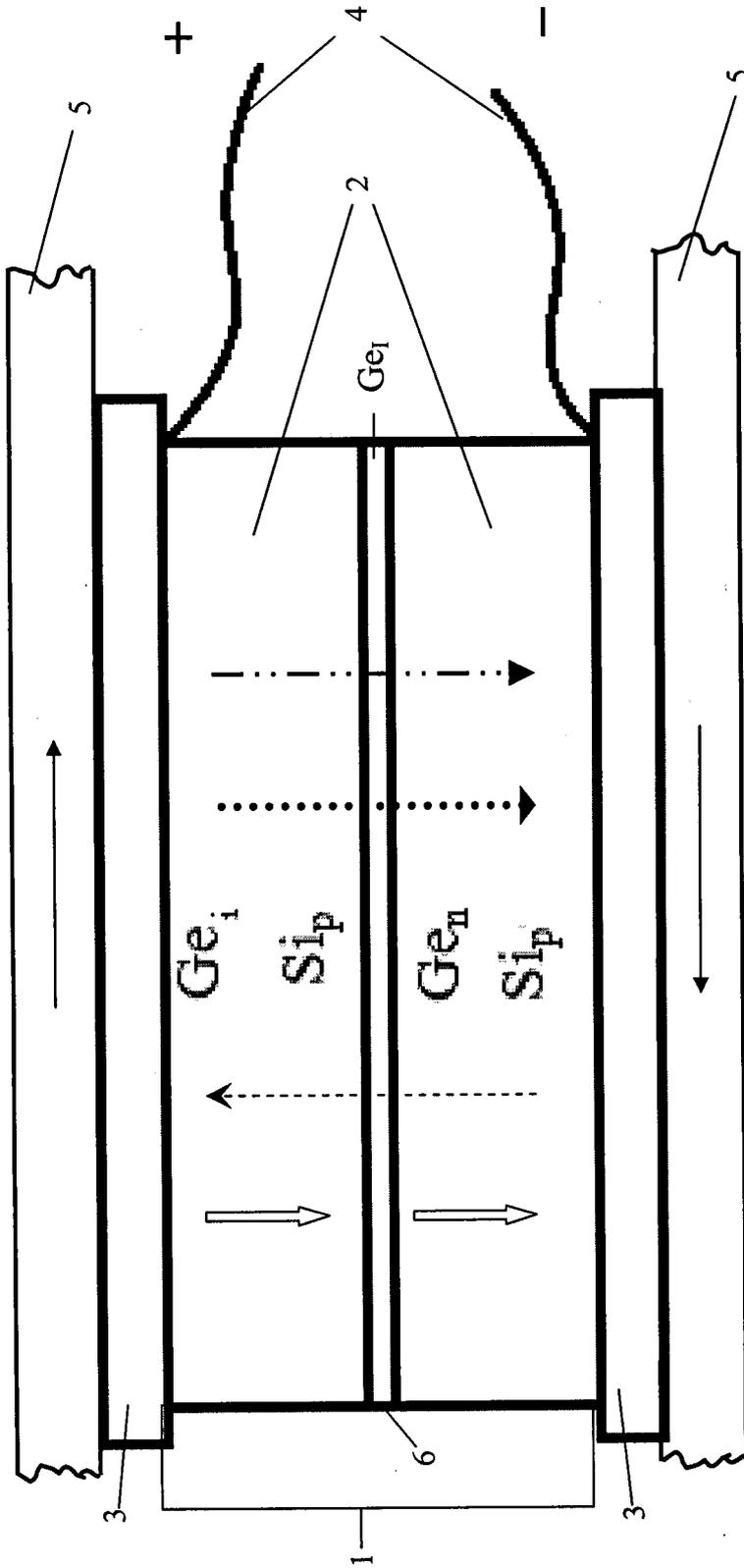
15 7. Полупроводниковый термоэлектрический генератор по п. 1, который отличается тем, что полупроводниковый блок включает пару варизонных полупроводников, один из которых имеет широкозонную сторону  $Si_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $Ge_n$ , которая содержит германий с 20 донорной примесью, другой варизонный полупроводник имеет широкозонную сторону  $Si_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $Ge_n$ , которая содержит германий с собственной проводимостью, между узкозонной стороной  $Ge_n$  25 одного варизонного полупроводника и широкозонной стороной  $Si_p$  другого варизонного полупроводника расположен промежуточный слой германия  $Ge_i$  с собственной проводимостью, через который варизонные полупроводники соединены, а к не соединённым с промежуточным слоем сторонам 30 варизонных полупроводников, которые являются внешними поверхностями полупроводникового блока, присоединены выводы и на указанных внешних поверхностях выполнены омические контакты.

8. Полупроводниковый термоэлектрический генератор по п. 1, который отличается тем, что полупроводниковый блок включает пару варизонных полупроводников, каждый из которых имеет широкозонную сторону  $Si_p$ , которая содержит кремний, легированный акцепторной примесью, и узкозонную сторону  $Ge_n$ , которая содержит германий с донорной примесью, при этом между узкозонной стороной  $Ge_n$  одного варизонного полупроводника и широкозонной стороной  $Si_p$  другого варизонного полупроводника расположен промежуточный слой германия  $Ge_i$  с собственной проводимостью, через который варизонные полупроводники соединены, а к не соединённым с промежуточным слоем сторонам варизонных полупроводников, которые являются внешними поверхностями полупроводникового блока, присоединены выводы и на указанных наружных поверхностях выполнены омические контакты.

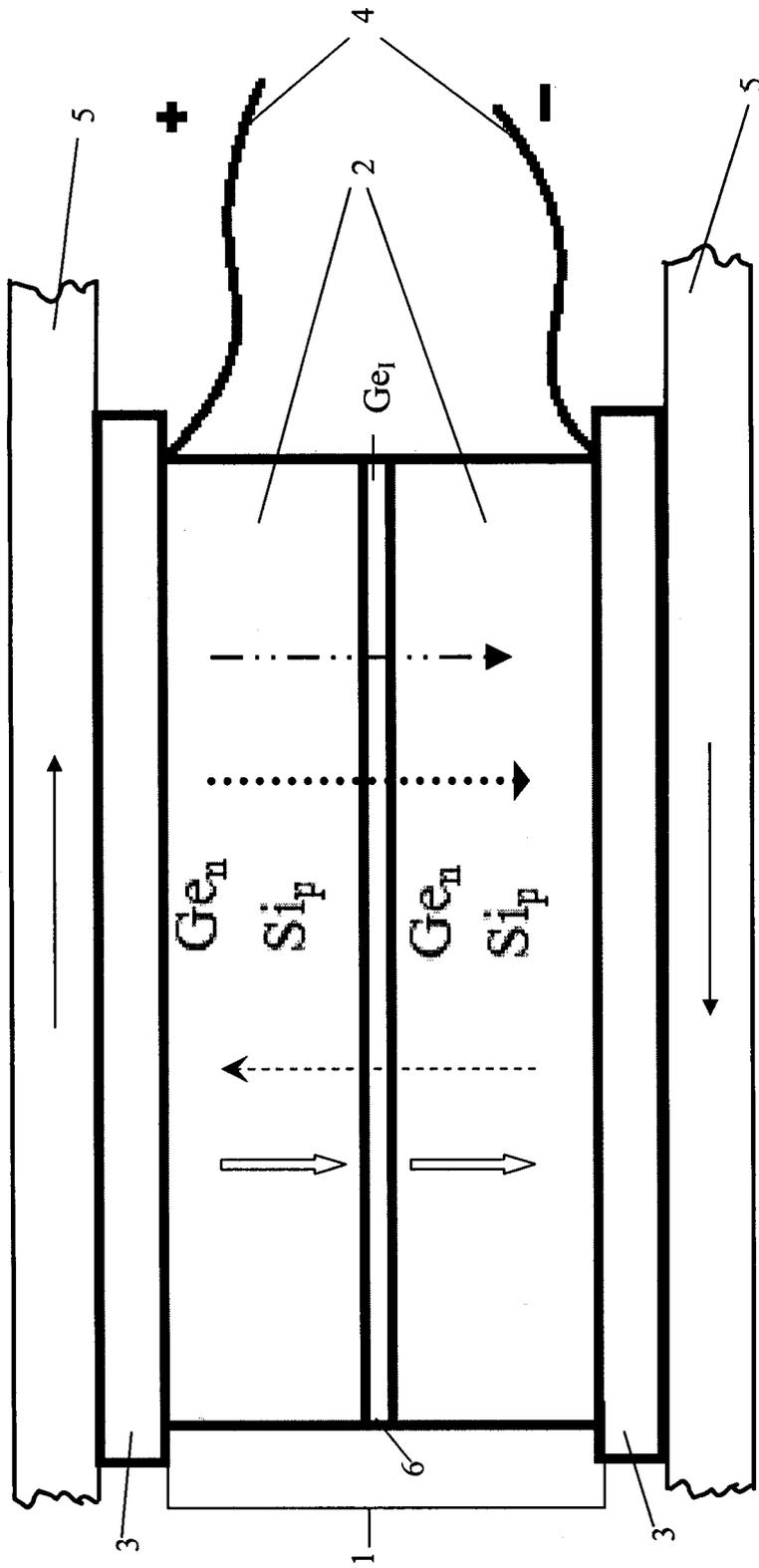
15



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/UA 2019/000054

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> H01L 35/12 (2006.01); H01L 35/28 (2006.01)  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>  Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L 35/00-35/34  Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) PatSearch (RUPTO internal), USPTO, PAJ, Esp@cenet, DWPI, EAPATIS, PATENTSCOPE, Information Retrieval System of FIPS		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2019/004988 A1 (KHVOROSTYANY ANDREI DMITRIEVICH) 03.01.2019	1-8
A	A. S. Saidov et al. Termovoltichesky effekt v varizonnom tverdom rastvore $Si_{1-x}Ge_x$ ( $0 \leq x \leq 1$ ) . Pisma v ZHTF, 2016, tom 42, vyp. 14, p. 21- 27	1-8
A	US 7807917 B2 (TRANSLUSENT, INC.) 05.10.2010	1-8
A	US 2017/0211450 A1 (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) 27.07.2017	1-8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 29 November 2019 (29.11.2019)		Date of mailing of the international search report 05 December 2019 (05.12.2019)
Name and mailing address of the ISA/ RU		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

**ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ**

Номер международной заявки

PCT/UA 2019/000054

**A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

*H01L 35/12 (2006.01)*

*H01L 35/28 (2006.01)*

Согласно Международной патентной классификации МПК

**B. ОБЛАСТЬ ПОИСКА**

Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации)

H01L 35/00- 35/34

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки

Электронная база данных, использованная при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины)

PatSearch (RUPTO internal), USPTO, PAJ, Esp@cenet, DWPI, EAPATIS, PATENTSCOPE, Information Retrieval System of FIPS

**C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:**

Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	WO 2019/004988 A1 (ХВОРОСТЯНЫЙ АНДРЕЙ ДМИТРИЕВИЧ) 03.01.2019	1-8
A	A. С. Саидов и др. Термовольтаический эффект в варизонном твердом растворе Si <sub>1-x</sub> Ge <sub>x</sub> (0 ≤ x ≤ 1). Письма в ЖТФ, 2016, том 42, вып. 14, с. 21- 27	1-8
A	US 7807917 B2 (TRANSLUSENT, INC.) 05.10.2010	1-8
A	US 2017/0211450 A1 (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) 27.07.2017	1-8

последующие документы указаны в продолжении графы C.

данные о патентах-аналогах указаны в приложении

* Особые категории ссылочных документов:	“Г” более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение
“А” документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным	“Х” документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности
“Е” более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее	“У” документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста
“L” документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)	“&” документ, являющийся патентом-аналогом
“O” документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.	
“P” документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета	

Дата действительного завершения международного поиска

29 ноября 2019 (29.11.2019)

Дата отправки настоящего отчета о международном поиске

05 декабря 2019 (05.12.2019)

Наименование и адрес ISA/RU:  
Федеральный институт промышленной собственности,  
Бережковская наб., 30-1, Москва, Г-59,  
ГСП-3, Россия, 125993  
Факс: (8-495) 531-63-18, (8-499) 243-33-37

Уполномоченное лицо:

Щукина Т.И.

Телефон № (499) 240-25-91