



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H05H 7/22 (2021.05)

(21)(22) Заявка: 2019126617, 26.01.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.01.2018

Дата регистрации:
21.12.2021

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
26.01.2017 US 62/450,935

(43) Дата публикации заявки: 26.02.2021 Бюл. № 6

(45) Опубликовано: 21.12.2021 Бюл. № 36

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 26.08.2019

(86) Заявка РСТ:
СА 2018/050098 (26.01.2018)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2018/137042 (02.08.2018)

Адрес для переписки:
101000, Москва, ул. Мясницкая, 13, стр. 5, ООО
"Союзпатент"

(72) Автор(ы):
УЛРИХ, Дуглас (СА)

(73) Патентообладатель(и):
КАНЕЙДЬЕН ЛАЙТ СОРС ИНК. (СА)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: WO 2015176188 A1, 26.11.2015. WO
2014186898 A1, 27.11.2014. WO 2009000076 A1,
31.12.2008. US 7800012 B2, 21.09.2010. US 5898261
A1, 27.04.1999. US 5561342 A1, 01.10.1996. US
5524042 A1, 04.06.1996. US 5391958 A1,
21.02.1995. US 4324980 A1, 13.04.1982. RU
2581835 C1, 20.04.2016. RU 2354086 C1,
27.04.2009.

(54) ВЫВОДНОЕ ОКНО ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗОТОПОВ

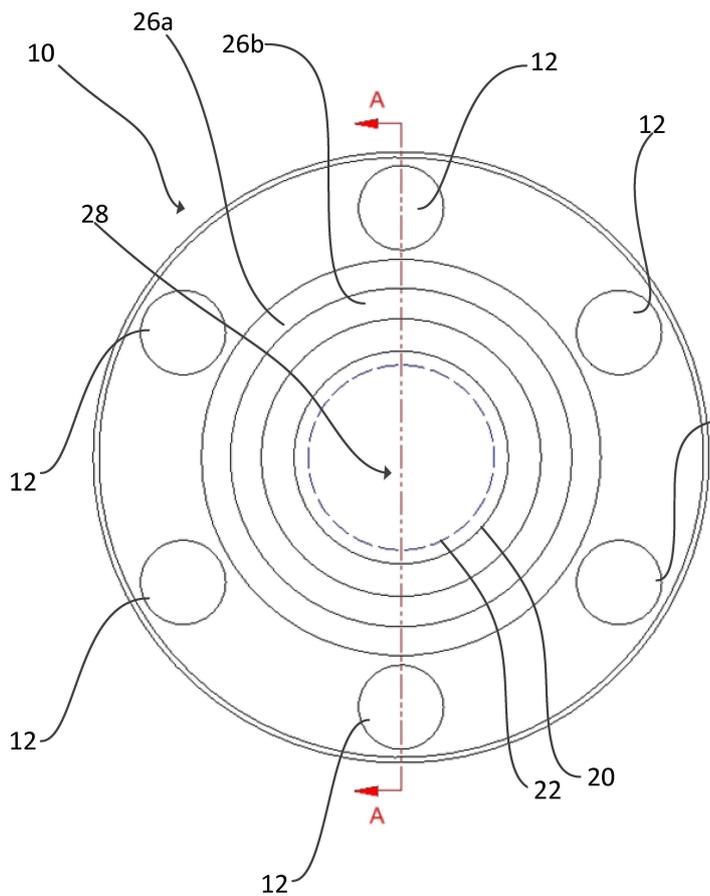
(57) Реферат:

Изобретение относится к выводному окну для электронного пучка из линейного ускорителя для использования в процессе производства радиоизотопов. Выводное окно содержит цилиндрический канал, функционально соединяемый на одном конце с вакуумной камерой, предназначенной для прохождения через нее электронного пучка, а также куполообразную чашевидную головку на другом конце канала. Причем чашевидная головка содержит выпуклую часть, имеющую выступающую верхнюю часть, предназначенную для прохода через нее электронного пучка. Геометрия куполообразной

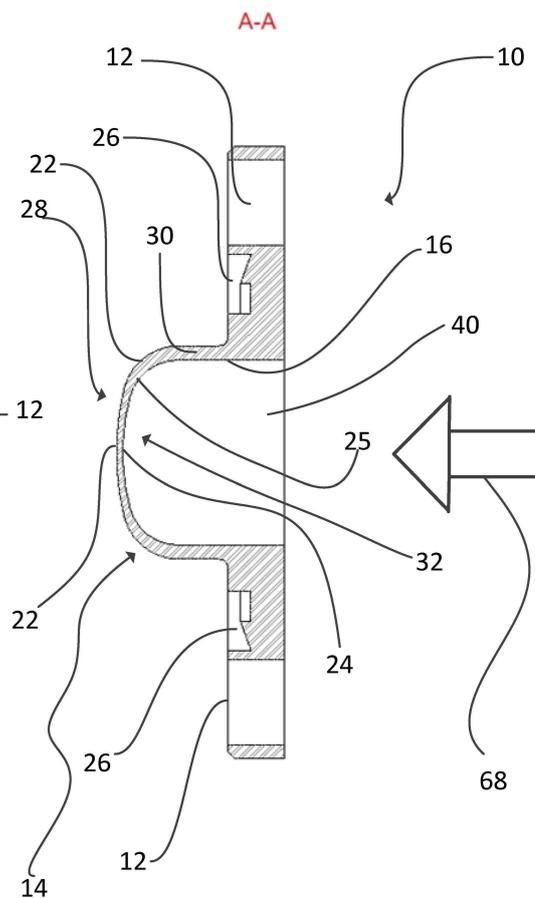
чашевидной головки выбрана так, чтобы обеспечивать сопротивление напряжению от давления, создаваемого охлаждающей средой, циркулирующей вокруг выступающей верхней части, и вакуумом в цилиндрическом канале, и поддерживать объединенные тепловое напряжение и напряжение от давления ниже предела усталости материала, образующего выводное окно. Техническим результатом является возможность выводного окна для электронов выдерживать в ходе производства изотопов с использованием потока тормозного излучения высокие перепады давления с

минимизацией усталостного разрушения из-за высоких динамических термически индуцированных напряжений, вызванных

импульсным электронным пучком, 31 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг. 1А



Фиг. 1В

RU 2762668 C2

RU 2762668 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H05H 7/22 (2021.05)

(21)(22) Application: **2019126617, 26.01.2018**

(24) Effective date for property rights:
26.01.2018

Registration date:
21.12.2021

Priority:

(30) Convention priority:
26.01.2017 US 62/450,935

(43) Application published: **26.02.2021** Bull. № 6

(45) Date of publication: **21.12.2021** Bull. № 36

(85) Commencement of national phase: **26.08.2019**

(86) PCT application:
CA 2018/050098 (26.01.2018)

(87) PCT publication:
WO 2018/137042 (02.08.2018)

Mail address:
**101000, Moskva, ul. Myasnitskaya, 13, str. 5, OOO
"Soyuzpatent"**

(72) Inventor(s):
ULLRICH, Douglas (CA)

(73) Proprietor(s):
CANADIAN LIGHT SOURCE INC. (CA)

(54) **OUTPUT WINDOW FOR ELECTRON BEAM IN ISOTOPE PRODUCTION**

(57) Abstract:

FIELD: radioisotope production.

SUBSTANCE: invention relates to an output window for an electron beam from a linear accelerator for use in the production of radioisotopes. The output window contains a cylindrical channel functionally connected at one end to a vacuum chamber designed for the passage of an electron beam through it, as well as a domed cup-shaped head at the other end of the channel. The cup-shaped head contains a convex part having a protruding upper part designed for the passage of an electron beam through it. The geometry of the domed cup-shaped head is chosen so that to provide resistance to tension from the pressure created by a

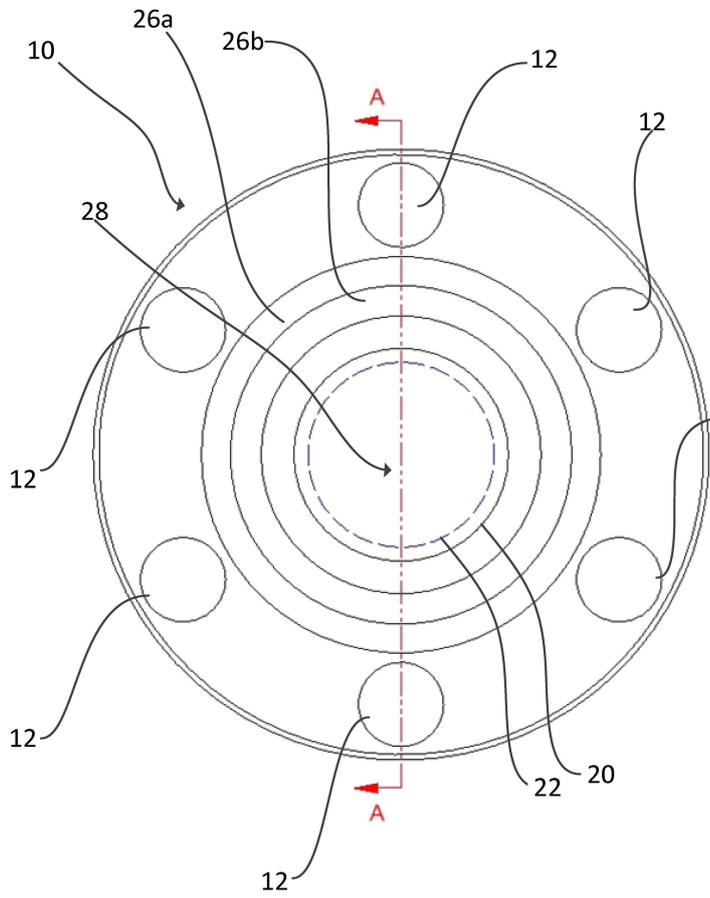
cooling medium circulating around the protruding upper part and the vacuum in the cylindrical channel, and to maintain combined thermal tension and pressure tension below the fatigue limit of material forming the outlet window.

EFFECT: possibility of the output window for electrons to withstand high pressure drops during the production of isotopes using a braking radiation flux with minimization of fatigue failure due to high dynamic thermally induced tensions caused by a pulsed electron beam.

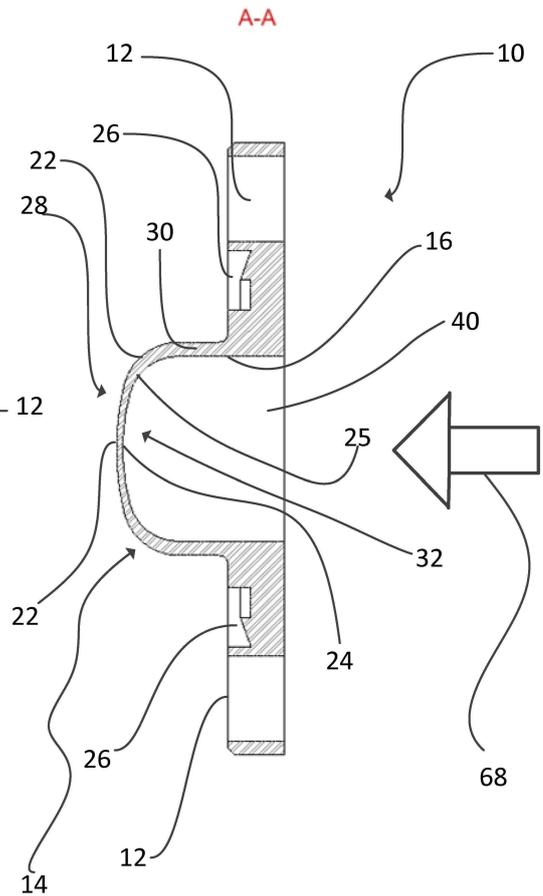
32 cl, 2 dwg

C 2
8
9
6
2
6
6
8
C 2
R U

R U
2
7
6
2
6
6
8
C 2



Фиг. 1А



Фиг. 1В

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к выводному окну для электронного пучка, используемого для производства изотопов.

Уровень техники

5 Коммерческие радиоизотопы, такие как $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$, которые используются в качестве радиоактивной метки в диагностических процедурах ядерной медицины, производятся с использованием процессов на основе ядерного деления. Например, ^{99}Mo может быть
получен при делении высокообогащенного урана ^{235}U .

10 В связи с проблемами распространения ядерного оружия и остановкой ядерных установок, используемых для производства коммерческих радиоизотопов, используются альтернативные системы и способы для производства коммерческих радиоизотопов без использования ядерного деления.

Одним из таких способов является использование высокоэнергетического линейного
15 ускорителя электронов для получения ядерных реакций в материале мишени посредством одного или нескольких реакционных процессов. Использование этого способа для получения молибдена-99 и систем, используемых для получения молибдена-99 с помощью этого способа, описаны в заявках РСТ/СА2014/050479 и РСТ/СА2015/050473, которые полностью включены в настоящий документ посредством ссылки.

20 Пучки электронов высокой энергии, создаваемые с помощью линейного ускорителя электронов, могут быть использованы для обработки материалов (преобразования или трансмутации) на ядерном уровне с использованием различных ядерных реакций. Таким способом могут быть получены изотопы элемента. Поскольку линейные ускорители должны работать в вакуумированной атмосфере (т.е. под вакуумом) и
25 обрабатываемый материал должен быть охлажден для рассеивания тепла, вызванного некоторыми ядерными реакциями и взаимодействиями, для разделения двух сред требуется соответствующее выводное окно электронного пучка.

Некоторые окна для высокоэнергетического электронного пучка представляют собой тонкие конструкции из металлической фольги со многими вариациями слоев,
30 покрытий и опорных конструкций. Тонкая фольга используется по целому ряду причин, например, для увеличения размера окна, чтобы позволить электронному пучку проходить через окно и при этом уменьшить затухание электронного пучка из-за окна и уменьшить ядерные взаимодействия с самим окном.

Поскольку линейный ускоритель производит малый осевой импульсный электронный
35 пучок, развертка электронного пучка позволяет увеличить объемы обработки и уменьшить горячие точки на фольге окна. Затухание электронного пучка вредно для многих технологий электронной обработки вследствие потери эффективности, а ядерные взаимодействия с окном вызывают поток излучения ниже по ходу потока, динамические термические напряжения и потенциальные проблемы охлаждения, причем все эти
40 процессы зависят от толщины окна.

В то время как конструкции из фольги эволюционировали для удовлетворения текущих требований к осуществлению неядерной реакции с более низкой энергией процесса электронно-лучевой обработки, они не были разработаны для производства изотопов электронного пучка высокой энергии, использующего поток тормозного
45 излучения.

Поскольку окна из фольги, как правило, являются тонкими структурами, они не могут выдерживать высокие перепады давления на них. Большая часть электронно-лучевой обработки выполняется без принудительного или напорного охлаждения среды

мишени, поскольку плотность поглощенной энергии при этой обработке значительно ниже. Фольга испытывает усталостное разрушение из-за высоких динамических термически индуцированных напряжений, вызванных импульсным электронным пучком.

Соответственно, требуется получить решение, которое устраняет, по меньшей мере
5 частично, вышеуказанные и другие недостатки.

Раскрытие сущности изобретения

Одним объектом изобретения является выводное окно для электронного пучка из
линейного ускорителя для использования в процессе производства радиоизотопов.
Выводное окно содержит цилиндрический канал, функционально соединяемый на одном
10 конце с вакуумной камерой, предназначенной для прохождения через нее электронного
пучка; куполообразную чашевидную головку, находящуюся на другом конце канала,
причем чашевидная головка содержит выпуклую часть, имеющую выступающую
верхнюю часть, предназначенную для прохода через нее электронного пучка, при этом
геометрия куполообразной чашевидной головки выбрана так, чтобы обеспечить
15 сопротивление напряжению от давления, создаваемого охлаждающей средой,
циркулирующей вокруг выступающей верхней части, и вакуумом в цилиндрическом
канале, и поддерживать объединенные тепловое напряжение и напряжение от давления
ниже предела усталости материала, образующего выводное окно.

В некоторых вариантах осуществления изобретения куполообразная чашевидная
20 головка имеет эллипсоидальный профиль. В некоторых вариантах осуществления
изобретения куполообразная чашевидная головка имеет тороидально-сферический
профиль.

В некоторых вариантах осуществления изобретения куполообразная чашевидная
головка имеет радиус утопленной верхней части, который составляет от 125 до 80%
25 диаметра цилиндрического канала. В некоторых вариантах осуществления изобретения
куполообразная чашевидная головка имеет радиус внутреннего изгиба, который
составляет от 20 до 40% диаметра цилиндрического канала. В некоторых вариантах
осуществления изобретения куполообразная чашевидная головка имеет радиус
утопленной верхней части, составляющий 12 мм. В некоторых вариантах осуществления
30 изобретения куполообразная чашевидная головка имеет радиус внутреннего изгиба,
составляющий 2,7 мм.

В некоторых вариантах осуществления изобретения куполообразная чашевидная
головка имеет радиус внутреннего изгиба, который составляет от 30 до 6% диаметра
цилиндрического канала.

35 В некоторых вариантах осуществления изобретения выступающая верхняя часть
имеет круглую или в целом овальную форму. В некоторых вариантах осуществления
изобретения выступающая верхняя часть содержит множество приподнятых участков,
причем каждый из этих приподнятых участков имеет диаметр, уменьшающийся по мере
того, как выступающая верхняя часть проходит наружу.

40 В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно представляет
собой единый цельный элемент.

В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно содержит
бериллий, медь, сталь, нержавеющей сталь, титан, сплавы любых из вышеперечисленных
материалов или комбинацию любых из вышеперечисленных материалов. В некоторых
45 вариантах осуществления изобретения выводное окно содержит Ti-6Al-4V.

В некоторых вариантах осуществления изобретения цилиндрический канал имеет
диаметр 6-10 мм. В некоторых вариантах осуществления изобретения цилиндрический
канал имеет диаметр 10-20 мм.

В некоторых вариантах осуществления изобретения линейный ускоритель способен генерировать электронный пучок, имеющий энергию по меньшей мере от 10 до примерно 50 МэВ. В некоторых вариантах осуществления изобретения линейный ускоритель способен генерировать электронный пучок, имеющий мощность по меньшей мере от 5 до приблизительно 150 кВт. В некоторых вариантах осуществления изобретения электронный пучок, проходящий через выступающую верхнюю часть, имеет энергию по меньшей мере 30 МэВ.

В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно может устанавливаться на фланце окна с возможностью снятия.

В некоторых вариантах осуществления изобретения объединенные напряжение от давления, возникающее из-за охлаждающей среды, и тепловое напряжение, возникающее в результате импульсного нагрева электронным пучком выводного окна, поддерживаются ниже предела усталости выводного окна. В некоторых вариантах осуществления изобретения сжимающие напряжения от перепада давления, возникающего из-за охлаждающей среды и вакуума, частично компенсируют растягивающие напряжения на выводном окне, вызванные нагревом от электронного пучка.

В некоторых вариантах осуществления изобретения выступающая верхняя часть имеет толщину от примерно 0,15 до примерно 0,75 мм. В некоторых вариантах осуществления изобретения выступающая верхняя часть имеет толщину примерно 0,35 мм. В некоторых вариантах осуществления изобретения перепад давления, создаваемый охлаждающей средой и вакуумом, составляет по меньшей мере 690 кПа. В некоторых вариантах осуществления изобретения перепад давления, создаваемый охлаждающей средой и вакуумом, составляет от 100 до 2000 кПа.

В некоторых вариантах осуществления изобретения линейный ускоритель способен создавать пульсацию электронного пучка с частотой 1-600 Гц.

В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно имеет форму, подходящую для вставки в держатель мишени преобразователя. В некоторых вариантах осуществления выводное окно имеет форму, подходящую для вставки в охлаждающую трубу мишени для производства изотопов.

В некоторых вариантах осуществления изобретения держатель мишени преобразователя удерживает целевые диски из тантала (Ta). В некоторых вариантах осуществления радиоизотоп содержит молибден-99 (^{99}Mo).

В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно может монтироваться на сопрягаемый фланец путем вакуумного уплотнения с помощью ножевой кромки типа Conflat™. В некоторых вариантах осуществления выводное окно может монтироваться с помощью технологий сварки или пайки.

Краткое описание чертежей

Признаки и преимущества вариантов осуществления настоящего изобретения станут очевидными из последующего подробного описания, рассматриваемого в сочетании с прилагаемыми чертежами.

На фиг. 1А показан вид сзади выводного окна в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 1В - разрез А-А выводного окна, показанного на фиг. 1А;

на фиг. 1С - вид в перспективе выводного окна, показанного на фиг. 1А;

на фиг. 2 - вид сбоку держателя мишени преобразователя и связанных с ним компонентов охлаждения в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения.

В нижеследующем описании одинаковые части обозначаются на протяжении всего описания, а также на чертежах, одинаковыми соответствующими ссылочными позициями.

Осуществление изобретения

5 Последующее описание и описанные в нем варианты осуществления изобретения представлены в качестве иллюстрации примера или примеров частных вариантов осуществления принципов настоящего изобретения. Эти примеры приведены с целью пояснения, а не ограничения этих принципов и изобретения. В некоторых случаях
10 определенные структуры и способы не были описаны или показаны подробно, чтобы не затруднять понимание изобретения.

Описанные в данном документе варианты осуществления изобретения относятся к выводному окну для электронного пучка из линейного ускорителя для использования в производстве радиоизотопов. Выводное окно содержит цилиндрический канал, функционально соединяемый на одном конце с вакуумной камерой, предназначенной
15 для прохождения по ней электронного пучка, и куполообразную чашевидную головку на другом конце канала. Куполообразная чашевидная головка содержит выпуклый участок, имеющий выступающую верхнюю часть, предназначенную для пропускания электронного пучка, причем геометрия куполообразной чашевидной головки выбрана так, чтобы обеспечить сопротивление напряжению от давления, создаваемого
20 охлаждающей средой, циркулирующей вокруг выступающей верхней части, и вакуумом в цилиндрическом канале, и поддерживать объединенные термическое напряжение и напряжение от давления ниже предела усталости материала конструкции выводного окна.

Изотопы элемента могут создаваться путем выброса нейтрона из ядра атома посредством бомбардировки атома релятивистскими фотонами высокой энергии, также
25 называемыми гамма-излучением. Этот процесс известен как фотонейтронная реакция или гамма-нейтронная (γ, n) реакция. Энергия падающих фотонов использует гигантский резонансный нейтронный пик атомов и обычно составляет от 10 до 30 миллионов электронвольт (МэВ).

30 Падающие фотоны образуются в результате взаимодействия электронов высокой энергии с мишенью преобразователя или веществом мишени для производства изотопов. Электроны высокой энергии исходят из линейного ускорителя электронов. Линейный ускоритель генерирует сгруппированные пакеты электронов со скоростью, приближающейся к скорости света, и с частотой импульсов до диапазона килогерц
35 (кГц). Как только пакеты электронов ударяются о вещество мишени, возникает радиационный поток. Генерирование фотонов высокой энергии является одним из различных ядерных взаимодействий, которые происходят в этом потоке.

Электронный пучок, проходящий через выводное окно, создается линейным ускорителем. Линейный ускоритель является линейным ускорителем частиц, который
40 увеличивает скорость заряженных субатомных частиц, подвергая частицы воздействию ряда колебательных электрических потенциалов вдоль прямолинейной линии пучка. Генерация электронных пучков с помощью линейного ускорителя обычно требует следующих элементов: (i) источник для генерации электронов, обычно катодное устройство, (ii) источник высокого напряжения для первоначального ввода электронов
45 в (iii) полую трубчатую вакуумную камеру, длина которой будет зависеть от энергии, требуемой для электронного пучка, (iv) множество электрически изолированных цилиндрических электродов, расположенных вдоль длины трубы, и (v) источник радиочастотной энергии для подачи питания на каждый из цилиндрических электродов.

Частицы высокой энергии, генерируемые линейным ускорителем, вызывают фотоядерные реакции внутри мишеней. В некоторых вариантах осуществления изобретения фотоядерная реакция включает в себя фотонейтронную реакцию. В некоторых вариантах осуществления изобретения фотоядерная реакция включает в себя реакцию фотоделения. В некоторых вариантах осуществления изобретения фотоядерная реакция включает в себя реакцию фоторасщепления. В некоторых вариантах осуществления изобретения фотоядерная реакция включает в себя одну или несколько реакций из числа фотонейтронной реакции, фотоделения и фоторасщепления.

На фиг. 1А-1С проиллюстрирован вариант выполнения выводного окна согласно изобретению. Выводное окно 10 содержит канал 40, ведущий к куполообразной чашевидной головке 14 с одной стороны. Куполообразная чашевидная головка 14 содержит выпуклые участки 20 и 22 (угловой изгиб) и вогнутые участки 24 и 25 (внутренний изгиб). При установке на держатель мишени преобразователя выпуклые участки 20 и 22 выводного окна 10 обращены к охлаждающей среде, которая используется для охлаждения мишеней, таких как Mo^{100} или тантал (Ta) и подобные им, удерживаемые в держателе мишени преобразователя. Вогнутые участки 24 и 25 обращены к вакууму в канале 40, через который проходит электронный пучок 68. В проиллюстрированном варианте осуществления изобретения выпуклые участки 20 и 22 образуют выступающую верхнюю часть 28, через которую проходит электронный пучок 68, и угловой изгиб 22, который проходит от выступающей верхней части 28 до наружного участка 30 канала. Вогнутые участки 24 и 25 содержат утопленную верхнюю часть 32, через которую проходит электронный пучок 68, и внутренний изгиб 25, который проходит от утопленной верхней части 32 до внутреннего участка 16 канала.

В этом варианте осуществления изобретения поперечное сечение выводного окна 10 снаружи имеет тороидально-сферическую форму (радиусы верхней части и углового изгиба). В некоторых вариантах осуществления изобретения поперечное сечение выводного окна 10 снаружи имеет в целом полусферическую или эллипсоидальную форму. В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно 10 имеет такую форму поперечного сечения, которая подходит для установки на держатель мишени преобразователя.

Выводное окно 10 съемным образом соединяется с держателем мишени преобразователя. В проиллюстрированном варианте осуществления изобретения выводное окно 10 содержит каналы 12 для крепежных элементов. Крепежные элементы могут быть вставлены в каналы 12 для крепежных элементов для установки выводного окна 10 в держатель мишени преобразователя. В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно 10 содержит крепежные элементы для его крепления на держателе мишени преобразователя. В этом варианте осуществления изобретения крепежные каналы 12 представляют собой цилиндрические каналы, имеющие круглое поперечное сечение. В других вариантах осуществления изобретения крепежные каналы 12 представляют собой каналы, имеющие другие формы поперечного сечения. В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно 10 может быть прикреплено или приварено непосредственно к охлаждающей трубе мишени для производства изотопов. В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно 10 может быть установлено в держателе мишени преобразователя любыми известными специалистам в данной области техники способами.

В проиллюстрированном варианте осуществления изобретения куполообразная чашевидная головка 14 имеет тороидально-сферический профиль, имеющий определенные радиусы верхней части и изгиба. В некоторых вариантах осуществления

изобретения утопленная верхняя часть 32 имеет радиус 12 мм. В некоторых вариантах осуществления изобретения внутренний изгиб 25 имеет радиус 2,7 мм. В некоторых вариантах осуществления изобретения выступающая верхняя часть 28 имеет радиус 24 мм, а угловой изгиб 22 имеет радиус 5,4 мм. В некоторых вариантах осуществления изобретения диаметр цилиндрического канала составляет от 6 до 10 мм. В некоторых вариантах осуществления изобретения диаметр цилиндрического канала составляет от 10 до 20 мм.

В некоторых вариантах осуществления изобретения куполообразная чашевидная головка 14 имеет эллипсоидальный профиль. В некоторых вариантах осуществления изобретения эллипсоидальный профиль имеет внутренний малый диаметр 8 мм и внутренний большой диаметр 10 мм. В некоторых вариантах осуществления изобретения куполообразная чашевидная головка 14 имеет радиус внутреннего изгиба, составляющий от 30 до 6% от диаметра цилиндрического канала.

В проиллюстрированном варианте осуществления изобретения геометрия куполообразной чашевидной головки 14 выбрана так, чтобы обеспечивать сопротивление напряжению от давления, создаваемому охлаждающей средой, циркулирующей вокруг выпуклых участков 20 и 22, и вакууму в канале 40, и поддерживать объединенные тепловое напряжение и напряжение от давления ниже предела усталости материала. Выводное окно 10 выполнено так, что электронный пучок 68 проходит через утопленную верхнюю часть 32, а затем - через выступающую верхнюю часть 28. При установке в держателе 60 мишени преобразователя охлаждающая среда протекает вокруг внешней стороны выпуклых участков 20 и 22 выводного окна 10 и внешнего большого диаметра выводного окна 10. Объединенное механическое и тепловое напряжение, возникающее в результате перепада давления на выводном окне 10 и тепла от электронного пучка 68, проходящего через выводное окно 10, поддерживается ниже предела усталости материала. Выводное окно 10 располагается таким образом, что выпуклые участки 20 и 22 подвергаются воздействию более высокого давления, что может снизить общий режим напряжения выводного окна 10 во время работы. Сжимающее напряжение от внешнего давления также может компенсировать растягивающее напряжение, вызванное нагревом выводного окна 10 от электронного пучка 68.

Выводное окно 10 также должно отделять вакуум линейного ускорителя от охлаждающей среды под давлением или жидкой среды мишени (то есть давление превышает атмосферное) и выдерживать перепад давления, создаваемый охлаждающей средой и вакуумом. В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно 10 может выдерживать перепад давления, который составляет менее 690 кПа. В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно 10 может выдерживать перепад давления, равный или превышающий 690 кПа. В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно 10 может выдерживать перепад давления, который находится в диапазоне от 100 до 2000 кПа.

В варианте осуществления изобретения, показанном на фиг. 1A-1C, выводное окно 10 содержит участки для создания вакуумного уплотнения через задний фланец выводного окна 10. В этом варианте осуществления изобретения выводное окно 10 содержит кольцевые вырезы 26a и 26b, которым придается форма, подходящая для установки прокладки, которая может быть изготовлена из меди или других материалов, известных специалистам в данной области техники. В этом варианте осуществления изобретения вакуумное уплотнение формируется с помощью фланца Conflat™ с ножевой кромкой. Ножевая кромка врезается в медную прокладку для создания вакуумного

уплотнения. В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно 10 может монтироваться с помощью технологий сварки или пайки.

В проиллюстрированном варианте осуществления изобретения выступающая верхняя часть 28 имеет круглую форму поперечного сечения. В некоторых вариантах осуществления изобретения выступающая верхняя часть 28 имеет в целом овальную форму поперечного сечения. В некоторых вариантах осуществления изобретения выступающая верхняя часть 28 имеет форму эллиптического поперечного сечения.

В некоторых вариантах осуществления изобретения выпуклые участки 20 и 22 выводного окна 10 отполированы, чтобы уменьшить вероятность возникновения поверхностных трещин во выводном окне 10 из-за высокой циклической усталости. В некоторых вариантах осуществления изобретения вогнутые участки 24 и 25 выводного окна 10 отполированы, чтобы уменьшить вероятность возникновения поверхностных трещин во выводном окне 10 из-за высокой циклической усталости. Полировка может быть выполнена с помощью стальной ваты и полирующего состава, а затем полирующего состава, нанесенного на ткань для шлифования.

Выводное окно 10 выполнено из материала, который имеет более низкую стоимость, обладает высокой обрабатываемостью, устойчив к агрессивным средам, обладает высокой прочностью на растяжение при повышенных температурах и имеет предсказуемый предел усталости или комбинацию любого или всех факторов из числа вышеупомянутых. В одном варианте осуществления изобретения выводное окно выполнено из Ti-6Al-4V. В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно 10 выполнено из бериллия, меди, стали, нержавеющей стали, титана, из любых их сплавов или комбинаций. Можно также использовать другой металл, металлические сплавы или материалы, известные специалистам в данной области техники, при условии, что металл, металлический сплав или материал совместимы с охлаждающей средой, а уровни напряжений на выводном окне 10 остаются ниже предела усталости материала при заданной температуре.

В проиллюстрированном варианте осуществления изобретения выводное окно 10 расположено между вакуумированным линейным ускорителем или передней камерой линейного ускорителя и мишенью, охлаждаемой жидкостью под давлением. В вариантах осуществления изобретения с жидкой мишенью выводное окно 10 выполнено так, чтобы оно само вмещало жидкость.

В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно 10 может выдерживать охлаждающую среду или жидкую среду мишени, которые являются агрессивными. В некоторых вариантах осуществления изобретения охлаждающая среда или жидкая среда мишени являются окисляющими. В некоторых вариантах осуществления изобретения охлаждающая среда или жидкая среда мишени являются кислотными. В некоторых вариантах осуществления изобретения охлаждающая среда или жидкая среда мишени являются деионизированными.

В проиллюстрированном варианте осуществления изобретения электронный пучок 68 из линейного ускорителя является стационарным и не раскачивается. В некоторых вариантах осуществления изобретения электронный пучок 68 имеет энергию по меньшей мере 30 МэВ, что намного выше, чем в большинстве коммерческих установок для обработки (например, менее 10 МэВ). В некоторых вариантах осуществления изобретения линейный ускоритель способен генерировать электронный пучок, имеющий мощность от по меньшей мере 5 кВт до примерно 150 кВт, и генерировать поток фотонов тормозного излучения от по меньшей мере 10 МэВ до примерно 50 МэВ. В некоторых вариантах осуществления изобретения линейный ускоритель способен генерировать

электронный пучок, имеющий мощность примерно 150 кВт. В некоторых вариантах осуществления изобретения электронный пучок представляет собой импульсный пучок. В некоторых вариантах осуществления изобретения линейный ускоритель способен создавать пульсацию электронного пучка с частотой 1-600 Гц.

5 В проиллюстрированном варианте осуществления изобретения выводное окно 10 может выдерживать циклические колебания температуры, вызванные импульсным электронным пучком 68.

Выводное окно 10 в проиллюстрированном варианте осуществления изобретения имеет геометрию, которая позволяет структуре выводного окна 10 изгибаться наружу
10 из-за внутреннего нагрева выводного окна 10, вызванного электронным пучком 68, и изгибаться внутрь из-за внешнего давления, такого как давление от охлаждающей среды под давлением или жидкой среды мишени. Геометрия выводного окна 10, как описано в проиллюстрированных вариантах осуществления изобретения, позволяет выводному окну 10 выдерживать перепад давления в диапазоне от 100 до 2000 кПа.

15 В некоторых вариантах осуществления изобретения толщина участка выступающей верхней части 28, через которую проходит электронный пучок 68, составляет по меньшей мере 0,35 мм. В некоторых вариантах осуществления изобретения толщина участка выступающей верхней части 28 имеет изменяющуюся толщину в диапазоне от 0,15 до 0,75 мм. В некоторых вариантах осуществления изобретения толщина наружного
20 участка 30 канала составляет 0,75 мм. Изменяющаяся толщина выступающей верхней части 28 позволяет выводному окну 10 изгибаться под воздействием напряжения, в то же самое время сохраняя напряжение ниже предела усталости материала выводного окна 10. Различные участки выводного окна 10 могут иметь разную толщину в зависимости от давления, оказываемого охлаждающей средой под давлением или
25 жидкой средой мишени, а также колебаний температуры вследствие нагрева, вызванного электронным пучком 68.

На фиг. 2 показано выводное окно 10, установленное в держатель 60 мишени преобразователя. В одном варианте осуществления изобретения выводное окно 10
30 установлено на фланце, в котором для вакуумного уплотнения используется ножевая кромка типа Conflat™. В некоторых вариантах осуществления изобретения между двумя ножевыми кромками имеется медная прокладка. В некоторых вариантах осуществления изобретения могут также использоваться другие способы вакуумного уплотнения, известные специалистам в данной области техники. В некоторых вариантах
35 осуществления изобретения фланец окна является сменным. В некоторых вариантах осуществления изобретения выводное окно 10 полностью приваривается к держателю 60 мишени преобразователя. В некоторых вариантах осуществления изобретения для соединения выводного окна 10 с держателем 60 мишени преобразователя может использоваться графитовое кольцевое уплотнение.

Держатель 60 мишени преобразователя функционально соединен с трубопроводом
40 62, который позволяет охлаждающей среде перемещаться в держатель 60 мишени преобразователя. В этом варианте осуществления изобретения выводное окно 10 установлено в держателе 60 мишени преобразователя, а электронный пучок 68 направляется через выводное окно 10 в держатель 60 мишени преобразователя. Фланец Conflat™ 64 герметизирует сборочный узел мишени преобразователя в вакуумной
45 камере, а патрубок 66 соединяет источник подачи воды со сборочным узлом мишени преобразователя. В проиллюстрированном варианте осуществления изобретения коммерческий радиоизотоп содержит молибден-99 (^{99}Mo), а мишени содержат диски-мишени из молибдена-100 (^{100}Mo) или Ta. В некоторых вариантах осуществления

изобретения, использующих фотонейтронную реакцию, коммерческий радиоизотоп содержит ^{47}Sc , ^{67}Cu или ^{88}Y , а соответствующие мишени содержат ^{48}Ti , ^{68}Zn или ^{89}Y . В некоторых вариантах осуществления изобретения, использующих реакцию захвата нейтронов, коммерческий радиоизотоп включает в себя ^{32}P , ^{46}Sc , ^{56}Mn , ^{75}Se , ^{90}Y , ^{166}Ho , ^{177}Lu , ^{192}Ir , ^{198}Au , а соответствующие мишени включают в себя ^{31}P , ^{45}Sc , ^{55}Mn , ^{74}Se , ^{89}Y , ^{165}Ho , ^{176}Lu , ^{191}Ir , ^{197}Au . В некоторых вариантах осуществления изобретения, в которых используются реакции фотоделения, коммерческий радиоизотоп содержит ^{99}Mo из фотон-индуцированного деления урана ^{238}U или нейтрон-индуцированного деления урана ^{235}U из испущенных нейтронов.

В некоторых вариантах осуществления изобретения держатель 60 мишени преобразователя содержит станцию 70 преобразования тормозного излучения, как описано в патентных заявках РСТ с номерами РСТ/СА2014/050479 и РСТ/СА2015/050473.

Испытание варианта выполнения выводного окна 10 проводилось на основе множества прогонов линейного ускорителя с различными уровнями мощности и продолжительностью прогона. Все испытания проводились посредством подтверждения надлежащих вакуумных условий в вакуумной камере и установления потока охлаждающей воды через заднюю часть выводного окна 10. Линейный ускоритель включается, и мощность пучка увеличивается с 1 кВт до целевого уровня мощности с шагом от 2 до 5 кВт в среднем по две минуты между каждым шагом. Первоначальные испытания проводились при уровнях мощности от 1 до 24 кВт и продолжительности импульсов пучка от менее часа до приблизительно десяти часов. Дальнейшие испытания проводились на 72-часовых испытаниях на выносливость, проводимых при мощности пучка 24 кВт и при мощности пучка 30 кВт. В ходе этих испытаний один из вариантов выводного окна 10 подвергался воздействию 370 миллионов импульсов электронного пучка при мощности пучка в диапазоне от 1 до 30 кВт, а выводное окно 10 не испытывало появления трещин или повреждений своей структурной целостности в результате воздействия такой пульсации электронного пучка и высоких циклических напряжений, создаваемых такой пульсацией. Этот вариант выполнения выводного окна 10 подвергался дополнительным 90 миллионам импульсов электронного пучка, всего 460 миллионов импульсов электронного пучка, при мощности пучка в диапазоне от 1 до 30 кВт, и в результате использования такого варианта осуществления изобретения не возникали трещины или повреждения структурной целостности окна из-за таких импульсов электронного пучка и высоких циклических напряжений, создаваемых таким импульсом.

Способы и системы, раскрытые в данном документе, могут обеспечивать некоторые преимущества:

- При использовании профиля с куполообразной чашевидной головкой выводное окно 10 может иметь меньшую толщину, что может снизить тепловое напряжение на выводном окне 10, вызванное электронным пучком.

- Хотя показанный вариант осуществления изобретения имеет цилиндрический канал, этот канал может иметь другие формы, которые позволяют проходить электронному пучку.

- Геометрия выводного окна 10 может обеспечивать гибкость, позволяющую выводному окну 10 поддерживать более низкие уровни напряжения, когда выводное окно 10 сжимается и расширяется в результате соответственно перепада давления и колебаний температуры, вызванных импульсным электронным пучком.

- Выводное окно 10 выдерживает нагрузки дольше по сравнению с выводным окном, изготовленным с помощью химического осаждения алмаза из паровой фазы, что

приводит к увеличению производства и сокращению времени простоя. Например, импульсный электронный пучок с частотой 600 Гц может привести к выходу из строя типичного выводного окна (без признаков выводного окна 10) примерно за 10000000 циклов или 4,6 часа. При производстве изотопов такое увеличение приводит к снижению радиоактивных отходов и уменьшению дозы облучения для работников, которым приходится заменять или обрабатывать активированные компоненты.

Если выше имеется ссылка на компонент, то до тех пор, пока не указано иное, ссылка на этот компонент должна интерпретироваться как включение в качестве эквивалентов этого компонента для любого компонента, который выполняет функцию описанного компонента (то есть функционально эквивалентного), включая компоненты, которые не являются структурно эквивалентными раскрытой структуре, которая выполняет функцию в проиллюстрированных примерах вариантов осуществления изобретения.

Частные примеры систем, способов и устройств были описаны здесь в целях иллюстрации. Они являются только примерами. Технология, предоставленная в данном документе, может применяться к системам, отличным от систем, описанных выше в примерах. Многие изменения, модификации, дополнения, пропуски и перестановки возможны в рамках практического применения этого изобретения. Это изобретение включает в себя вариации в отношении описанных вариантов осуществления, которые будут очевидны для квалифицированного адресата, включая варианты, полученные посредством замены признаков, элементов и/или действий эквивалентными признаками, элементами и/или действиями; смешивания и сопоставления признаков, элементов и/или действий из разных вариантов осуществления изобретения; объединения признаков, элементов и/или действий из вариантов осуществления изобретения, описанных в данном документе, с признаками, элементами и/или действиями других технологий; исключения и/или объединения признаков, элементов и/или действий из описанных вариантов осуществления изобретения.

Варианты осуществления изобретения, описанные выше, предназначены только для иллюстрации. Специалисты в данной области техники будут принимать во внимание, что в эти варианты осуществления изобретения могут быть внесены различные модификации деталей, и все они входят в объем изобретения.

(57) Формула изобретения

1. Выводное окно для электронного пучка из линейного ускорителя для использования в процессе производства радиоизотопов, содержащее:
 - цилиндрический канал, функционально соединяемый на одном конце с вакуумной камерой, предназначенной для прохождения через нее электронного пучка; и куполообразную чашевидную головку на другом конце канала, причем чашевидная головка содержит выпуклый участок, имеющий выступающую верхнюю часть, предназначенную для прохода через нее электронного пучка, причем геометрия куполообразной чашевидной головки выбрана так, чтобы обеспечить сопротивление напряжению от давления, создаваемого охлаждающей средой, циркулирующей вокруг выступающей верхней части, и вакуумом в цилиндрическом канале, и поддерживать объединенные тепловое напряжение и напряжение от давления ниже предела усталости материала, образующего выводное окно.
 2. Выводное окно по п. 1, в котором куполообразная чашевидная головка имеет эллипсоидальный профиль.
 3. Выводное окно по п. 1, в котором куполообразная чашевидная головка имеет тороидально-сферический профиль.

4. Выводное окно по п. 3, в котором куполообразная чашевидная головка имеет радиус утопленной верхней части, который составляет от 125 до 80% диаметра цилиндрического канала.

5 5. Выводное окно по п. 3, в котором куполообразная чашевидная головка имеет радиус утопленной верхней части, составляющий 12 мм.

6. Выводное окно по п. 3, в котором куполообразная чашевидная головка имеет радиус внутреннего изгиба, который составляет от 30 до 6% диаметра цилиндрического канала.

10 7. Выводное окно по п. 3, в котором куполообразная чашевидная головка имеет радиус внутреннего изгиба, составляющий 2,7 мм.

8. Выводное окно по любому из пп. 1–7, в котором выступающая верхняя часть имеет круглую или в целом овальную форму.

15 9. Выводное окно по любому из пп. 1–8, в котором выступающая верхняя часть содержит множество приподнятых участков, причем каждый из этих приподнятых участков имеет уменьшающийся диаметр по мере того, как выступающая верхняя часть проходит наружу.

10. Выводное окно по любому из пп. 1–9, которое представляет собой единый цельный элемент.

20 11. Выводное окно по любому из пп. 1–10, которое содержит бериллий, медь, сталь, нержавеющую сталь, титан, сплавы любых из вышеперечисленных материалов или комбинацию любых из вышеперечисленных материалов.

12. Выводное окно по любому из пп. 1–11, которое содержит Ti-6Al-4V.

13. Выводное окно по любому из пп. 1–12, в котором цилиндрический канал имеет диаметр 6–10 мм.

25 14. Выводное окно по любому из пп. 1–13, в котором цилиндрический канал имеет диаметр 10–20 мм.

15. Выводное окно по любому из пп. 1–14, в котором линейный ускоритель способен генерировать электронный пучок, имеющий энергию по меньшей мере от 10 до примерно 50 МэВ.

30 16. Выводное окно по любому из пп. 1–15, в котором линейный ускоритель способен генерировать электронный пучок, имеющий мощность по меньшей мере от 5 до примерно 150 кВт.

17. Выводное окно по любому из пп. 1–16, в котором электронный пучок, проходящий через выступающую верхнюю часть, имеет энергию по меньшей мере 30 МэВ.

35 18. Выводное окно по любому из пп. 1–17, в котором выводное окно является съемно устанавливаемым на фланце окна.

40 19. Выводное окно по любому из пп. 1–18, в котором объединенные напряжение от давления, создаваемого охлаждающей средой, и тепловое напряжение, возникающее в результате импульсного нагрева электронным пучком выводного окна, поддерживаются ниже предела усталости выводного окна.

20. Выводное окно по любому из пп. 1–19, в котором сжимающие напряжения, возникающие от перепада давления в результате воздействия охлаждающей среды и вакуума, частично компенсируют растягивающие напряжения на выводном окне, вызванные нагревом от электронного пучка.

45 21. Выводное окно по любому из пп. 1–20, в котором выводное окно имеет изменяющуюся толщину от 0,15 до 0,75 мм.

22. Выводное окно по любому из пп. 1–21, в котором перепад давления, создаваемый охлаждающей средой и вакуумом, составляет по меньшей мере 690 кПа.

23. Выводное окно по любому из пп. 1–22, в котором линейный ускоритель способен создавать пульсацию электронного пучка с частотой 1–600 Гц.

24. Выводное окно по любому из пп. 1–23, которое имеет форму, подходящую для вставления в держатель мишени преобразователя.

5 25. Выводное окно по любому из пп. 1–24, которое имеет форму, подходящую для вставления в охлаждающую трубу мишени для производства изотопов.

26. Выводное окно по п. 24, в котором держатель мишени преобразователя удерживает диски мишени из тантала (Ta).

10 27. Выводное окно по любому из пп. 1–26, в котором радиоизотоп содержит молибден-99 (^{99}Mo).

28. Выводное окно по любому из пп. 1–27, которое выполнено с возможностью установки на сопрягаемый фланец путем вакуумного уплотнения с помощью ножевой кромки типа Conflat™.

15 29. Выводное окно по любому из пп. 1–27, которое выполнено с возможностью установки с помощью технологий сварки или пайки.

30. Выводное окно по любому из пп. 1–29, в котором геометрия позволяет выводному окну изгибаться наружу из-за теплового напряжения, вызванного электронным пучком, и изгибаться внутрь из-за напряжения, вызванного давлением.

20 31. Выводное окно по любому из пп. 1–30, в котором выступающая верхняя часть имеет толщину по меньшей мере 0,35 мм.

32. Выводное окно по любому из пп. 1–30, в котором выступающая верхняя часть имеет толщину в диапазоне от примерно 0,15 до примерно 0,75 мм.

25

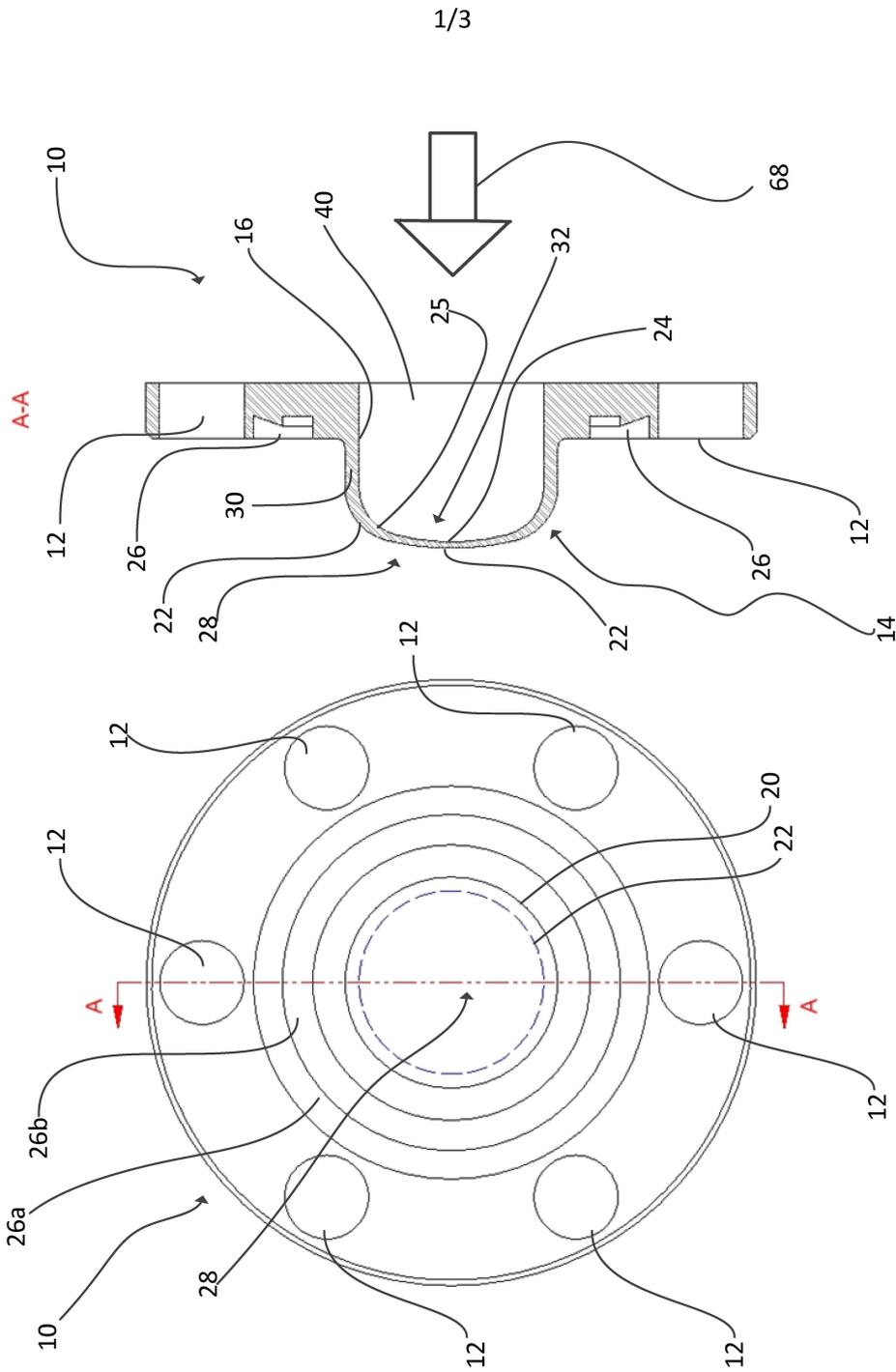
30

35

40

45

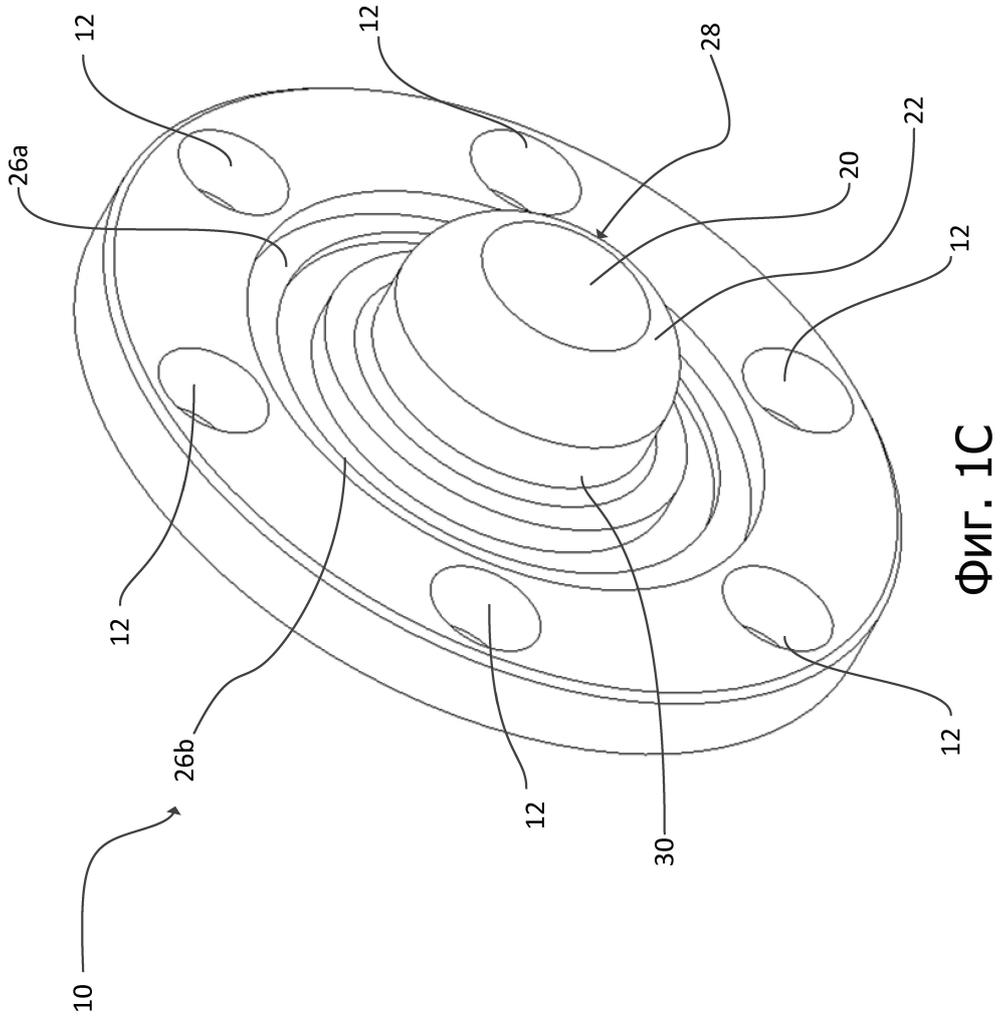
1



ФИГ. 1В

ФИГ. 1А

2



ФИГ. 1С

