



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*G21K 5/10 (2013.01)*

(21)(22) Заявка: 2016150551, 22.05.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
22.05.2015

Дата регистрации:  
20.11.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
22.05.2014 AU 2014901905

(43) Дата публикации заявки: 25.06.2018 Бюл. № 18

(45) Опубликовано: 20.11.2019 Бюл. № 32

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 22.12.2016

(86) Заявка РСТ:  
AU 2015/000302 (22.05.2015)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2015/176115 (26.11.2015)

Адрес для переписки:  
109012, Москва, ул. Ильинка, 5/2, ООО  
"Союзпатент"

(72) Автор(ы):

**ПРОКОПОВИЧ Дейл (AU),  
ФЛИНН Элисон (AU),  
САРБУТТ Адам (AU),  
БОАРДМАН Дэвид (AU)**

(73) Патентообладатель(и):

**ОСТРЕЙЛИАН НЬЮКЛИАР САЙЕНС  
ЭНД ТЕКНОЛОДЖИ ОРГАНАЙЗЕЙШН  
(AU)**

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 5038370 A, 06.08.1991. US 4995066  
A, 19.02.1991. US6272206 B1, 07.08.2001. RU  
2249926 C2, 10.04.2005.

## (54) ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

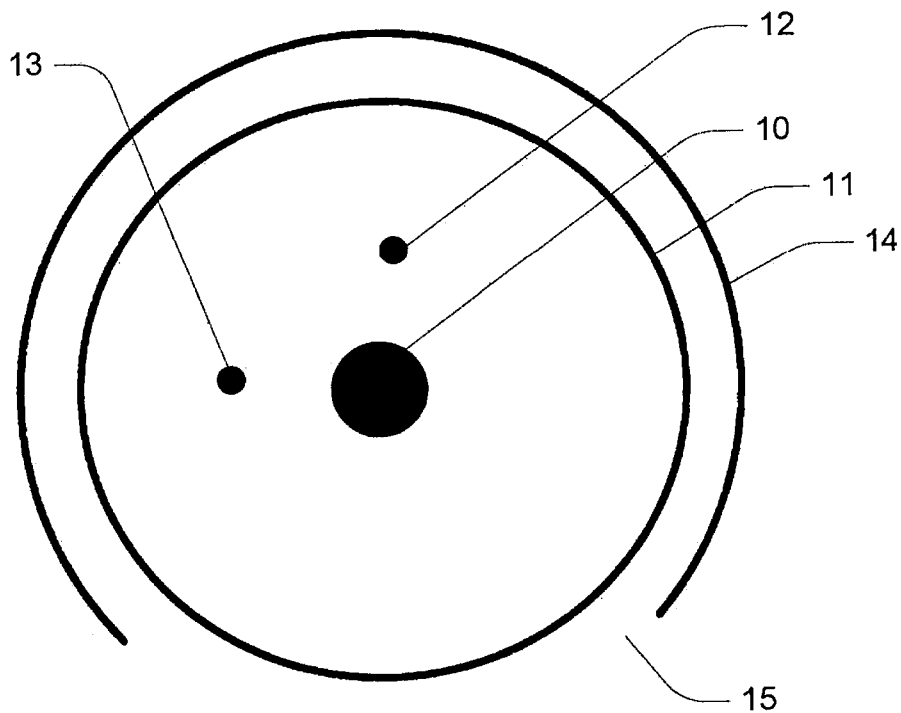
(57) Реферат:

Изобретение относится к устройству кодирующей маски для гамма-излучения. Устройство содержит вложенные маски, по меньшей мере одна из которых вращается относительно другой. Устройство маски для использования при измерении поступающего излучения методом «сжатого измерения» содержит одну или более одной кодирующих масок, каждая маска имеет корпус, сформированный из материала, который снижает интенсивность поступающего излучения. Каждая маска из указанных одной или более одной масок имеет множество областей апертур маски,

которые имеют более высокое пропускание излучения по сравнению с другими участками указанных одной или более масок, достаточное для восстановления результатов «сжатого измерения». Указанные одна или более одной кодирующих масок выполнены с возможностью вращаться. Причем в случае, если указанное устройство маски содержит более одной кодирующей маски, по меньшей мере одна из кодирующих масок выполнена с возможностью вращаться относительно других кодирующих масок. Техническим результатом является создание устройства формирования гамма-

изображения, которое осуществляет меньшее количество измерений, чем известные средства получения для гамма-изображения, возможность получения изображений визуализируемого

трехмерного пространства, сформированных посредством меньшего количества измерений, чем количество пикселей в изображении. 3 н. и 24 з.п. ф-лы, 11 ил.



Фиг. 1

RU 2706736 C2

RU 2706736 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G21K 5/10 (2013.01)*

(21)(22) Application: **2016150551, 22.05.2015**

(24) Effective date for property rights:  
**22.05.2015**

Registration date:  
**20.11.2019**

Priority:

(30) Convention priority:  
**22.05.2014 AU 2014901905**

(43) Application published: **25.06.2018 Bull. № 18**

(45) Date of publication: **20.11.2019 Bull. № 32**

(85) Commencement of national phase: **22.12.2016**

(86) PCT application:  
**AU 2015/000302 (22.05.2015)**

(87) PCT publication:  
**WO 2015/176115 (26.11.2015)**

Mail address:  
**109012, Moskva, ul. Ilinka, 5/2, OOO "Soyuzpatent"**

(72) Inventor(s):  
**PROKOPOVICH Dejl (AU),  
FLINN Elison (AU),  
SARBUTT Adam (AU),  
BOARDMAN Devid (AU)**

(73) Proprietor(s):  
**OSTREJLIAN NYUKLIAR SAJENS END  
TEKNOLODZHI ORGANAJZEJSHN (AU)**

(54) **GAMMA-RADIATION VISUALIZATION**

(57) Abstract:

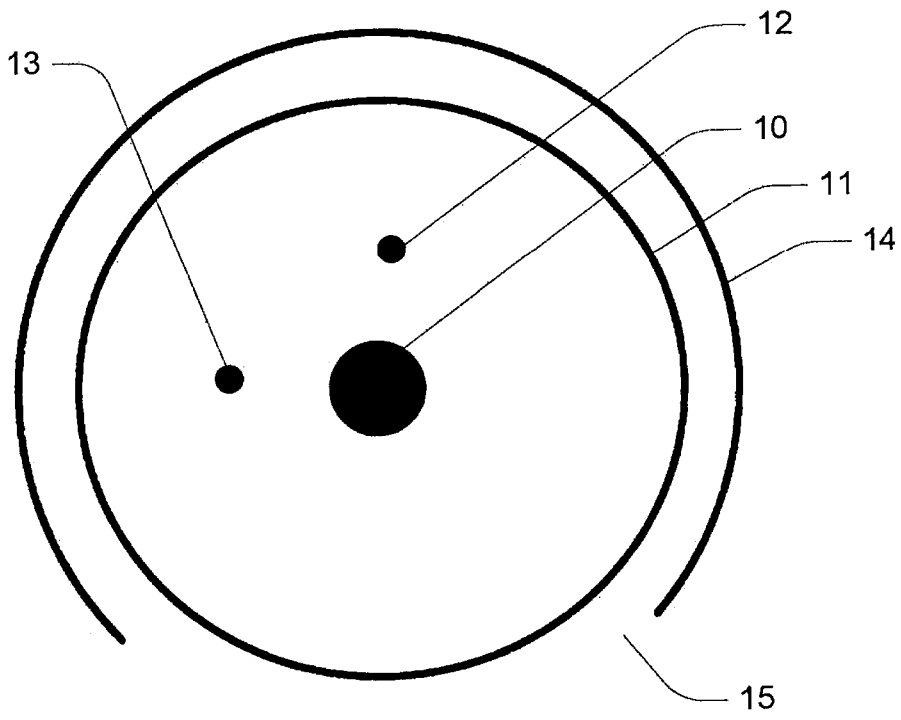
FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention relates to a coding mask for gamma radiation. Device comprises nested masks, at least one of which rotates relative to the other. Mask device for use in measuring incoming radiation by "compressed measurement" method comprises one or more coding masks, each mask has a housing formed from material, which reduces intensity of incoming radiation. Each mask of said one or more single masks has a plurality of aperture areas of the mask, which have higher transmission of radiation compared to other portions of said one or more masks, sufficient for

restoring results of "compressed measurement". Said one or more coding masks are configured to rotate. In case said mask device contains more than one coding mask, at least one of coding masks is made with possibility of rotation relative to other coding masks.

EFFECT: technical result is creation of gamma-image forming device, which performs fewer measurements than known means of obtaining for gamma-image, possibility of obtaining images of visualized three-dimensional space formed by fewer measurements than number of pixels in image.

27 cl, 11 dwg



ФИГ. 1

RU 2706736 C2

RU 2706736 C2

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к обнаружению радиации, более конкретно, к устройству получения гамма- или нейтронного изображения посредством «сжатого измерения» (Compressed Sensing) с использованием одного детектора и кодирующих масок.

Уровень техники

Получение гамма-изображений представляет собой важное средство для обнаружения радиации, которое может обеспечить определение места гамма-испускающих радионуклидов и их идентификацию. Получение гамма-изображений может быть применено во многих областях, включая, но не ограничиваясь этим: выведение из эксплуатации старых реакторов, дезактивация, контроль за состоянием окружающей среды (например, инженерно-геологические изыскания, контроль за ведением горных работ), диагностическая визуализация (СПЕКТ), астрономия и приложения в сфере национальной безопасности (например, поиск запрещенных радиоактивных и ядерных материалов).

Традиционные технологии получения гамма-изображения основаны либо на фокусировании изображения на чрезвычайно дорогую детекторную матрицу, или на медленном растровом сканировании одним детектором по плоскости изображения. Стоимость мозаичных детекторных матриц или низкоскоростных систем растрового сканирования являются зачастую непомерно дорогостоящими. В отличие от оптических фотонов, которые легко фокусируются, фотоны гамма-излучения обладают высокой проникающей способностью, что значительно затрудняет их фокусировку. Системы формирования гамма-изображения, в которых применяются мозаичные детекторные матрицы, обычно используют оптику с одной точечной диафрагмой, краткой диафрагмой или с планарной кодирующей апертурой. Эти системы используются для формирования изображения или кодированного изображения на детекторной матрице. Использование оптики с точечной диафрагмой и кодирующей апертурой широко известно на протяжении десятилетий в астрономии и медицине. Поле обзора в системах формирования изображения такого типа составляет приблизительно  $30^{\circ}$ - $40^{\circ}$  в горизонтальном или вертикальном направлении.

Вращающиеся модуляционные коллиматоры (RMC), которые впервые были предложены Мертцем (Mertz) в 1967 году, обычно используют две маски с параллельными щелями по всей длине маски. При вращении масок проецирование передней маски осуществляется на круг задней маски относительно источника. Вращение масок формирует модулированную структуру отсчетов на детекторе, которая зависит от количества источников, интенсивности источника, местоположения и размера. RMC имеет ряд недостатков, например, один RMC не обеспечивает получение изображения протяженных источников, он имеет малое поле зрения, при использовании одного RMC невозможно различить источник на центральной оси вращения. См. В.Р. Kowash «A rotating Modulation Imager for the Orphan Source Search Problem», PhD Thesis, 2008 г.

Области, которые должны быть визуализированы, во многих приложениях с получением гамма-изображений, являются по своей природе некомпактными и, как правило, требуется выполнить обнаружение одного или более точечных источников. В простом случае одного точечного источника, который будет замерен в изображении  $16 \times 16$ , и предполагая наличие нулевого фона, будет обеспечиваться 1 ненулевой пиксель и 255 нулевых пикселей. Вместо того чтобы выполнять  $N$  (в этом случае 256) измерений, большинство из которых будут являться нулевыми, интуиция подсказывает, что интеллектуальные механизмы способны определять местоположение ненулевого пикселя

при гораздо меньшем количестве измерений, чем  $N$  измерениях. Данное предположение недавно было подтверждено при разработке новой теории обработки сигнала, известной как «сжатое измерение» (Compressed Sensing). «Сжатое измерение» обеспечивает новый подход к формированию изображения. Подход сжатого измерения может создавать  
 5 изображения с частью измерений (по сравнению с обычными технологиями формирования изображения) и позволяет реализовать варианты системы с низкой стоимостью (один детектор). Системы формирования однопиксельного изображения, основанные на сжатом измерении, в последнее время были разработаны для длин волн оптического диапазона, инфракрасной области спектра и для терагерцевого диапазона.  
 10 См. R.G. Baraniuk et al. «Method and Apparatus for Compressive Imaging Device», патент США №819944 B2, 2012.

Например, известна система формирования изображения терагерцевого диапазона, которая использует однопиксельный детектор в сочетании с серией случайных масок для обеспечения высокоскоростного получения изображений. W.L. Chan et al. «A fingle-  
 15 Pixel Terahertz Imaging System Based on Compressed Sensing», Applied Physics Letters, Vol. 93, 2008. Эти системы формирования однопиксельного изображения используют определенный вид линзы для фокусировки изображения и затем используют случайные «сжатые» измерения для проведения замера плоскости изображения. Однако должно быть возможным выполнение «сжатых» измерений при выборке плоскости изображения,  
 20 а не формировании изображения и затем выполнения выборки. Huang et al использовали этот подход и описали оптическую систему формирования однопиксельного изображения, для которой не требуется линза. Они используют апертурную сборку для случайной выборки сцены и при отсутствии стадии формируют «традиционное» изображение. Huang et al «Lensless Imaging by Compressed Sensing», 2013.

Настоящее изобретения устраняет недостатки известных подходов визуализации в гамма-лучах путем создания системы, основанной на принципах Compressed Sensing.

#### Сущность изобретения

Задачей изобретения является создание устройства формирования гамма-изображения, которое осуществляет меньшее количество измерений, чем известные  
 30 средства получения для гамма-изображения. Изображения визуализируемого трехмерного пространства могут быть сформированы посредством меньшего количества измерений, чем количество пикселей в изображении.

Другим объектом изобретения является устройство формирования гамма-изображения, имеющее большее поле зрения, чем известные средства формирования  
 35 гамма-изображения, основанные на апертуре.

Изобретение также представляет устройство маски, которое может выполнять случайную выборку сцены для гамма-лучей. Такие случайные проекции сцены могут использоваться для восстановления изображений.

Таким образом, представлено устройство для формирования изображения,  
 40 содержащее один детектор, окруженный одной или более вращающимися масками.

В предпочтительных вариантах маски являются цилиндрическими, полусферическими или сегментами сфер, или сферами.

#### Краткое описание чертежей

Для лучшего понимания изобретения приводятся ссылки на прилагаемые чертежи,  
 45 на которых:

фиг. 1 - схема одного детектора, маски и защитного экрана на 270 градусов.

фиг. 2 - схема одного детектора, маски и защитного экрана, показанного на фиг. 1, показывающая дополнительные верхний и нижний защитные экраны.

фиг. 3 - схема одного детектора и двух вложенных одна в другую вращающихся цилиндрических масок.

фиг. 4 - схема одного детектора и двух концентрических масок, показывающая выравнивание и конусность апертур.

5 фиг. 5 - схема двух концентрических масок, показывающая перемещение щелей в качестве апертурной системы.

Фиг. 6 - схема маски, имеющей плавающие элементы, прикрепленные к подложке.

Фиг. 7 - схема одного детектора и двух концентрических полусферических масок над общей плоскостью.

10 Фиг. 8 и 9 - схемы сферических, вложенных одна в другую масок.

Фиг. 10 - блок-схема, иллюстрирующая способ реализации настоящего изобретения.

Фиг. 11 - схема кодирующей маски с отдельными элементами блокировки гамма-лучей и нейтронов.

Осуществление изобретения

15 Конфигурация устройства формирования изображений и измерения

Как показано на фиг. 1 и фиг. 2, один детектор 10 гамма-лучей расположен в центре маски 11, которая охватывает по окружности или окружает детектор 10. Детектор установлен по центру маски или масок, предпочтительно, детектор занимает центральное место или ось вращения маски 11. Может использоваться цилиндрическая или  
20 сферическая маска 11. При использовании нецентрального детектора, поле зрения может быть слегка иным. Могут использоваться более, чем один детектор 12, 13, и эти дополнительные детекторы могут располагаться в различных позициях. Используя множество детекторов, можно сократить время формирования изображения.

Необязательный защитный экран 14 от излучений цилиндрической или иной формы  
25 может иметь дугообразный вырез 15 для ограничения поля зрения дугой, которая ограничивается вырезом 15. Маска 11 может индексироваться или вращаться посредством поворачивающегося привода 19 шагового электродвигателя или непосредственно находящимся в зацеплении шаговым электродвигателем 20, или иным способом, пригодным для использования кодирующей маски или оптики. Несмотря  
30 на то, что для генерирования изображения из собранных и обработанных данных используются шаговые электродвигатели 20, зубчатая передача 21 и управляющий компьютер 22, снабженный, например, дисплеем и принтером, сбор данных и координированное перемещение/вращение маски может быть автоматизированным. Перемещение маски может осуществляться ступенчато или непрерывно.

35 Как показано на фиг. 2, когда используется цилиндрическая маска 11, необходимо использовать защитные экраны 16, 17 для покрытия верхней и нижней частей, так чтобы излучение могло достигнуть детектора только через открытые отверстия 18 маски 11, которые таким образом не закрыты защитным экраном.

Устройство формирования гамма-изображения с применением «сжатого измерения»  
40 (Compressed Sensing) может использоваться совместно с детектором 10, 12, 13 гамма-излучения. Могут быть использованы типовые системы детектора гамма-излучения на основе материалов, таких как йодид натрия (NaI), йодид цезия (CsI), оксид германия и висмута (BGO), теллурид кадмия (CdTe), теллурид цинка-кадмия (CZT), германий высокой чистоты (HPGe), йодид стронция (SrI<sub>2</sub>) и CLYC. Могут быть использованы  
45 спектроскопические детекторы, которые определяют энергию каждого измеренного фотона, для идентификации отображаемого радионуклида. Не спектроскопические детекторы, которые только фиксируют общее число отсчетов, будут обеспечивать общую информацию о радиационных точках. Другие устройства для обнаружения

радиации, например, измеритель мощности дозы излучения, могут использоваться в качестве датчика и, в этом случае будут составлять картограмму дозы излучения в поле обзора.

В предпочтительных вариантах используется спектроскопический детектор, который  
5 измеряет энергию каждого обнаруженного фотона гамма-излучения. Значения счетчика фотонов из любой конкретной энергетической ячейки или диапазона энергетических ячеек могут быть использованы в качестве данных контрольных измерений из набора результатов измерений. Восстановление данных измерения счетчика фотонов для  
10 заданной, представляющей интерес, пиковой области (например, 60 кэВ<sup>241</sup> Am линия) будет предоставлять информацию о местоположении <sup>241</sup>Am, при условии, что этот радионуклид присутствует. Восстановление данных измерения счетчика фотонов для дополнительных, представляющих интерес, областей может предоставить информацию о местоположении дополнительных радионуклидов.

15 Устройство нейтронной визуализации с применением «сжатого измерения» (Compressed Sensing) может использоваться совместно с любым нейтронным детектором или детекторами 10, 12, 13.

Датчики 10, 12, 13 с двойной модальностью, включающие, но не ограниченные СЛЭС, могут быть использованы для измерения модуляции как гамма-лучей, так и нейтронов.

20 Очевидно, что настоящее изобретение может быть применено к излучению с любой длиной волны (или любой частицы) посредством использования соответствующих маски и детектора.

Маска и отверстия в маске

Отверстия или апертуры в маске предпочтительно расположены рядами и столбцами.  
25 Местоположения отверстий 18 в узоре маски могут, например, быть случайными. Например, в апертурной маске 16×16 возможно наличие 256 отверстий. Генератор случайных чисел используется для выбора 128 номеров отверстий от 1 до 256. Затем 128 отверстий устанавливаются в качестве открытых отверстий. Оставшиеся 128 местоположений (из сходных 256 номеров) устанавливаются на ноль (закрытые). Это  
30 обеспечивает узор маски, который на 50% является открытым. Для вращающихся масок, где столбцы маски индексированы или вращаются, случайный выбор открытых/закрытых отверстий может быть осуществлен для каждого ряда, а не для всей маски. Это обеспечивает ситуацию, когда каждый ряд маски на 50% (например) открыт и не будет случая, когда ряд имеет слишком много или слишком мало открытых отверстий,  
35 что повлияло бы на процессе восстановления изображения.

Геометрия системы будет определять пространственное разрешение. Размер отверстия, предпочтительно, должен быть равен или превышать размеры детектора. Например, система может иметь отверстия 18 размером 0,5 см × 0,5 см и площадь поперечного сечения детектора должна иметь также размер 0,5 см × 0,5 см или менее.  
40 Чем дальше находится детектор от маски, тем выше пространственное разрешение.

Детекторы, которые имеют размеры больше, чем размер отверстия, могут быть использованы, тем не менее, в этом случае это приведет к увеличению наложения поля обзора соседних отверстий. Это наложение (что является снижением пространственного разрешения/размытостью изображения) может быть устранен посредством  
45 восстановления из сверстки характеристики маски.

Предпочтительной формой поперечного сечения отверстий является квадрат. Предпочтительное количество отверстий является степенью числа 2 (т.е. 64, 128, 256, 512, 1024), хотя это не имеет большого значения. Предпочтительно, чтобы между отверстиями маски различие было минимальным или не было различия.

Толщина маски зависит от применения. Для формирования изображения фотонов высокой энергии (например, фотоны 1,3 МэВ из  $^{60}\text{Co}$ ) общая толщина маски в 2 см свинца ослабит приблизительно 72% фотонов энергией 1,3 МэВ.

Используются материалы маски из основного компонента, который может в значительной степени модулировать интенсивность подающей радиации. Для гамма-лучей высокой энергии, как правило, используются материалы с высоким атомным числом ( $Z$ ) и с высоким значением плотности, который будет поглощать (ослаблять) радиационное излучение. Типовые материалы могут включать в себя, но не ограничиваться этим, вольфрам, свинец, золото, тантал, гафний и другие сплавы или соединения (например, 3D печать - смесь порошка вольфрама с эпоксидной смолой). Для низкоэнергетических гамма-фотонов могут применяться материалы с малым или средним  $Z$ , например, сталь, для модулирования интенсивности излучения фотонов. В предпочтительном варианте материал маски будет ослаблять фотоны для модулирования интенсивности фотонов. В других вариантах осуществления изобретения могут использоваться другие механизмы взаимодействия, например, эффект Комптона, если они показывают соответствующую модуляцию интенсивности фотонов.

Для визуализации нейтронной радиации тело маски должно модулировать интенсивность нейтронов и, поэтому материалы маски должны иметь большое сечение ядерной реакции взаимодействия нейтронов с веществом. Материалы тела маски для нейтронов могут включать в себя, но не ограничиваться этим, гафний, гадолиний, кадмий, материалы с примесью бора, материалы богатые водородом и их комбинации.

Маски могут быть изготовлены из материалов, которые могут обеспечить модуляцию как гамма-лучей, так и нейтронов. Один материал, например гафний, может быть подходящим для модуляции интенсивности как гамма-лучей, так и нейтронов.

Использование составных материалов, например комбинацию из вольфрама и кадмия, может быть подходящим для модулирования интенсивностей как гамма-лучей, так и нейтронов. Открытые апертуры, маски для гамма-лучей могут состоять из материала, обогащенного водородом, который не оказывает влияния на модуляцию интенсивности гамма-лучей. Такие апертуры из материала, обогащенного водородом, будут представлять закрытые апертуры или модулирующие области для нейтронной маски. Дополнительно, эти материалы для масок могли бы использоваться для модуляции интенсивности электромагнитного излучения любой длины волны (например, оптического, инфракрасного, THz и т.п.) или любых частиц (например, электронов, фотонов и т.п.).

Как показано на фиг. 11, кодирующая маска может модулировать как гамма-лучи, так и нейтроны по отдельности, т.е. некоторые области маски используются для блокировки гамма-лучей и некоторые области маски используются только для блокировки нейтронов. В показанном на фиг. 11 примере, одно подмножество 91 областей маски (показано черным цветом) изготовлено из материала, который модулирует только гамма-лучи. Другое подмножество 92 областей маски (обозначено белым цветом) модулирует только нейтроны, не гамма-лучи. Маски такого типа могут быть изготовлены по любым технологиям и из соответствующих материалов с формой или конфигурацией, которые предложены или описаны в настоящем описании изобретения. Маски могут быть одиночными или составными и вложенными друг в друга, прямоугольной, кольцевой, дугообразной, полусферической или сферической формы. Для выполнения последовательных измерений, требующихся для считывания данных кодирующей маски, требуется новый узор маски, который получается посредством замены текущей маски на новую или использованием некоторой формы

вращения маски или масок. Плоские формы маски имеют ограниченное поле обзора, так как они могут просматривать только фронтальную область с полем обзора, определяемым детектором и геометрией маски. Преимущество дугообразной, цилиндрической или сферической формы маски заключается в наличии большого поля зрения (FOV). Используемые в настоящее время камеры с кодирующей апертурой/пинхольные для получения гамма-изображения имеют FOV по горизонтали или вертикали между приблизительно 30°-40°. Вариант вертикальной цилиндрической маски будет иметь FOV 360° по горизонтали, вариант полусферической маски будет иметь FOV, равное 2π, а вариант сферической маски будет иметь FOV около 4π. Другие варианты могут включать в себя, но не ограничиваться этим, эллипсоидную, коническую, кубовидную или гексагональную форму маски.

В случае варианта с одной цилиндрической маской, вращение маски на один столбец сформирует новый узор маски с требуемым FOV для нового измерения. В случае варианта с одной цилиндрической маской вращение защитного экрана может использоваться для ограничения FOV и, поэтому, имеется большое число столбцов, чтобы обеспечить больше измерений (см. фиг. 2). Обратной стороной подхода использования одной цилиндрической маски является необходимость наличия большего количества столбцов для выполнения большего количества измерений, что увеличивает диаметр цилиндра и физические размеры всей системы.

Как показано на фиг. 3, подход, в котором применяется составная или маска в маске (или подход сдвоенной маски или множества масок), где тело 35, 36 каждой маски может перемещаться или индексироваться посредством компьютера 22 независимо друг от друга, обеспечивается возможность выполнения значительно большего количества измерений, благодаря наличию возможных комбинаций узоров двух масок. В предпочтительном варианте подход сдвоенной маски будет включать цилиндр в цилиндре (см. фиг. 3). Каждая маска вращается независимо в соответствии со способом для одной маски, как показано на фиг. 2, вокруг оси измерения или оси формирования изображения, вдоль которой может быть установлен детектор. Обеспечивается большое количество узоров маски (и соответственно измерений) при более компактной системе (меньше число столбцов в одном цилиндре), что может обеспечить 360° FOV.

Аналогичные аргументы можно привести для сдвоенной полусферической или сферической маски. При применении подхода сдвоенной маски объединенная открытая часть маски может приблизительно составлять 50%, но эта величина может изменяться при вращении маски. Одна маска может быть проиндексирована на углу поворота в течение полного оборота до того, как другая маска индексировается по одному столбцу, таким образом, генерируется количество виртуальных масок, которое равно количеству столбцов в квадрате. В других вариантах маски вращаются против часовой стрелки на один столбец в попеременных или не попеременных компоновках. Каждая виртуальная маска используется для измерения радиации до генерирования следующей маски. Каждая маска должна вращаться только в одном направлении.

Форма поперечного сечения или проекция апертур маски может включать в себя, но не ограничиваться этим, квадратную, прямоугольную, круговую, треугольную и шестиугольную форму. Апертуры маски могут быть разделены или не разделены. В предпочтительном варианте системы с одной маской, форма апертуры маски является квадратной.

Как показано на фиг. 4, для варианта сдвоенной маски размеры и ориентация внутренней 30 и внешней маски 31 могут быть различными, так что они сходят на конус 32 (но выравнены по краям) для получения одного и того же FOV для внутренней и

для внешней масок относительно детектора 33. 3-х мерные формы этих апертур 34 могут включать в себя, но не ограничиваться этим, трапецеидальную призму и конус.

5 Как показано на фиг. 5, открытые апертуры могут быть сформированы посредством наложения постоянно открытых структур, в форме спиральных линий 41 или некоторых других структур на одной маске, и другой формы, например, вертикальной щели 43 на другой маске. Вращение масок 42, 43 относительно друг друга формирует кодирующую апертуру.

Узор маски может быть случайным, псевдослучайным, неслучайным или определенным. Обычно узор маски должен удовлетворять определенным условиям для выполнения «сжатого измерения». Представление узора маски в матричной форме будет использоваться в процессе восстановления. Матрица измерений, применяемая для восстановления, может быть циркулянтной матрицей или матрицей Теплица, которые могут обеспечить более быстрое расчетное время. В предпочтительном варианте генерируется псевдослучайный узор маски, где каждый элемент маски имеет одинаковую вероятность быть либо 1 (открыт - 100% пропускание), либо 0 (закрыт - 0% пропускания). Процент пропускания для закрытого элемента маски должен иметь некоторое значение, меньшее 100%, например, предпочтительно, 0%, но пропускания в 50% будет считаться достаточным для эффективной модуляции интенсивности для восстановления изображения. Процент пропускания относится к увеличенной проникающей способности гамма-лучей высокой энергии. Например, закрытый элемент маски, состоящий из 10 мм свинца может иметь 0% пропускания для 60 кэВ гамма-фотонов, но процент пропускания может быть приблизительно 53% для 1332 кэВ гамма-фотонов. Может быть случай, когда проценты пропускания для открытых и закрытых апертур находятся слишком близко друг к другу для достаточной модуляции интенсивности фотонов для восстановления изображения. В качестве примера, 100% и 90% пропускания для открытых и закрытых апертур соответственно, могут быть слишком близки для достаточной модуляции интенсивности фотонов. Может быть более двух уровней пропускания в маске для заданной энергии, например, 3 уровня пропускания могут быть 33%, 66% и 100%. Другие уровни пропускания могут быть 25%, 50%, 75% и 100% или 0,16%, 4% и 100%. В последнем примере, близость двух нижних состояний пропускания эффективно обеспечит сходство трех уровней пропускания с двумя уровнями, что потенциально обеспечивает более быстрое восстановление, высокое качество восстановления и меньше измерений. Уровни пропускания могут охватывать два или более уровней от 0% до 100%. Значения матрицы измерений могут быть значениями ослабления для конкретных значений гамма-лучей. Различные значения ослабления и, соответственно, различные матрицы измерения могут быть использованы для восстановления при различных энергиях гамма-лучей.

Как показано на фиг. 6, узор маски для любой формы маски может быть сгенерирован таким образом, что структура маски будет самоподдерживающейся. Например, узоры маски с массивом плавающих или отдельных «закрытых» элементов 50 приклеены или присоединены к немасочной подложке 51. Таким образом, нет необходимости в прикреплении непрозрачных для радиации элементов 50 маски друг к другу, если не считать фиксации к подложке 51. Альтернативно, могут быть выбраны узоры маски без плавающих или отдельных «закрытых» элементов 50, которые не требуют наличия подложки 51, но потребуются внешние закрытые элементы 50, которые должны прикрепляться к общей структуре.

Как показано на фиг. 7-9, маска или маски могут иметь форму полусферическую, сферическую или части сферы, например, купол над любой заданной секущей

плоскостью или, возможно, сегмент между двумя плоскостями. Фиг. 7 показывает две вложенные и концентрические маски в форме сферических куполов, внутренний купол 61 и внешний купол 62, оба имеют полусферы с ободом (или нижние ряды) на общей плоскости. Одна или обе маски 61, 62 поворачиваются в позиции выборки данных, в которых столбцы 63, 64 и ряды обоих выровнены или совпадают, когда выполняется выборка или съемка данных. Обе имеют одинаковое количество столбцов и рядов. Каждый ряд занимает область сферы между двумя параллельными плоскостями. В одном примере внутренняя полусферическая маска 61 индексируется по одному столбцу в одном направлении, а внешняя маска 62 индексируется или поворачивается на угол, ограниченный одним столбцом в обратном направлении, в соответствии с фиг. 3. Посредством одновременного перемещения обеих масок можно получить значительно большую вариативность масок, где элементы маски открыты или закрыты, по сравнению со случаем, когда одна маска неподвижна и другая маска перемещается. Такая компоновка позволяет с использованием кодирующей маски с одним детектором получить изображение всего пространства над плоскостью, которая включает края 65, 66.

Фиг. 8 и фиг. 9 иллюстрируют вариант использования двух масок или возможно двух пар вложенных масок 71, 72, которые являются сферическими и концентрическими. Таким способом все пространство вокруг центрального детектора или детекторов может быть визуализировано. Каждая сферическая маска или пара 71, 72 масок может быть образована из 2-х полусферических масок или пар масок, как показано на фиг. 7. Каждая маска в данной компоновке будет иметь собственную систему привода, содержащую поворотный привод или шаговый электродвигатель, управляемый системным компьютером 22 (см. фиг. 2).

Геометрическая конструкция маски

Конструкция маски определяется требованиями области применения для формирования радиационного изображения. Геометрия системы оказывает влияние на характеристики системы, такие как пространственное разрешение, FOV и чувствительность. Важные геометрические параметры включают в себя: размеры детектора, расстояние от детектора до маски, размеры апертуры (например, толщина, длина, ширина), расстояние от маски до источника, толщина перегородки, количество апертур маски и величина угла расхождения от центра детектора и двумя соседними апертурами маски. Например, меньший размер апертуры маски обеспечит более высокое пространственное разрешение.

Алгоритм восстановления

Существует большое число алгоритмов восстановления, используемых для «сжатого измерения» (Compressed Sensing). Например, могут использоваться методы проекции градиента, итерационные методы сжатия/сравнения с порогом и методы аппроксимации с преследованием. См. R.M. Willett, R.F. Marcia и J.M. Nichols «Compressed Sensing for Practical Optical Imaging Systems: a Tutorial, Optical Engineering, Vol. 50 (7), July 2011 г. Любой из этих методов или другие подходящие методы могут быть использованы для восстановления и «сжатого измерения». Реализация ANSTO «сжатого измерения» использует метод проекции градиента для алгоритма восстановления с разреженными данными (GPSR). См. «Gradient Projection for Sparse Reconstruction: Application to Compressed Sensing and Other Inverse Problems» M.A. Figueiredo, R.D. Nowak, S.J. Wright, Journal of Selected Topics in Signal Processing, December 2007.

Слияние изображений

Гамма-изображение, которое генерируется после выполнения «сжатого измерения»

(Compressed Sensing), может быть наложено на оптическое изображение, которое зарегистрировано для того же поля обзора. Нейтронное изображение может быть наложено на оптическое изображение. Радиационные изображения, наложенные на оптическое изображение, помогут пользователю визуализировать местоположение источников радиации. Радиационные изображения могут быть наложены на изображения, полученные для любой другой длины волны (например, инфракрасные).

#### Способ

Как показано на фиг. 10, источник испускает радиационное излучение 80. Это радиационное излучение 80 проходит через маску или маски 81, как ранее описано. Системный компьютер 22 управляет работой детектора 10 или считывает данные с детектора 82. Детектор передает измеренное значение 83 в компьютер 22. Компьютер сохраняет и использует это значение и данные позиционирования маски или масок для сбора данных, которые будут восстановлены в изображение. Компьютер управляет работой электродвигателя или электродвигателей для обеспечения вращения маски или масок или индекса в следующую позицию измерения. Затем радиация проходит через новую маску или ориентацию 81 маски, по существу процесс повторяется.

Хотя изобретение было описано со ссылкой на конкретные примеры, как понятно специалистам в данной области техники, настоящее изобретение может быть реализовано во многих иных формах.

Как описано в данном документе, если не указано иное, использование порядковых прилагательных «первый», «второй», «третий» и т.д. осуществляется для описания общих объектов только для указания на различные примеры таких объектов и не предназначены для указания того, что описанные подобным образом объекты должны использоваться в заданной последовательности или во времени, в пространстве и по важности или любым иным способом. Ссылка по всему содержанию настоящего документа на «один вариант осуществления» или «вариант» или «пример» означает, что конкретный признак, структура или характеристика, описанные в варианте осуществления, содержатся, по меньшей мере, в одном варианте осуществления настоящего изобретения. Таким образом, использование фразы «в одном варианте» или «в одном примере» в различных местах настоящего описания не обязательно все ссылаются на один и тот же вариант осуществления изобретения или пример, но возможно. Более того, конкретные признаки, структуры или характеристики могут быть объединены любым подходящим способом, как будет понятно специалистам в данной области техники из настоящего описания, в одном или более вариантах осуществления изобретения.

Аналогичным образом, как описано выше в примерных вариантах осуществления настоящего изобретения, различные признаки изобретения иногда группируются в один вариант осуществления, чертеж или описание с целью упрощения описания настоящего изобретения и понимания одного или более различных аспектов изобретения. Этот способ раскрытия, однако, не следует трактовать, как отражающее намерения того, что формула изобретения требует более признаков, чем явным образом изложено в каждом пункте формулы изобретения. Предпочтительно, как указано в прилагаемой формуле изобретения, аспекты изобретения изложены в менее, чем во всех признаках одного вышеизложенного раскрытого варианта осуществления. Любой пункт формулы изобретения, изложенный в явном виде в разделе «Осуществление изобретения», где отдельный пункт формулы изобретения представляет собой отдельный вариант осуществления настоящего изобретения.

Если иным образом не указано иначе, как очевидно из описания, понятно, что

использование терминов «обработка», «вычисление», «расчет», «определение» или т.п. относится к действию и/или процессу работы микропроцессора, контроллера или вычислительной системы, или аналогичного электронного вычислительного устройства или устройств обработки сигнала, которые обрабатывают и/или трансформируют

5 данные.

Боле того, в то время как некоторые варианты осуществления, описанные в данном документе, включают в себя некоторые, но не другие признаки, содержащиеся в других вариантах осуществления изобретения, комбинации признаков различных вариантов находятся в рамках объема настоящего изобретения, и формируют различные варианты

10 осуществления изобретения, как будет понятно специалистам в данной области техники. Например, в прилагаемой формуле изобретения любой заявленный вариант осуществления изобретения может быть использован в любой комбинации.

Таким образом, несмотря на то, что были описаны предпочтительные варианты осуществления настоящего изобретения, специалисты в данной области техники понимают, что возможны другие и дополнительные модификации вариантов осуществления настоящего изобретения без отхода от сущности изобретения, и подразумевается, что все такие изменения и модификации пунктов формулы изобретения находятся в рамках объема настоящего изобретения.

15 Несмотря на то, что настоящее изобретение было описано со ссылкой на конкретные детали конструкции, следует понимать, что они представлены в качестве примера и не предназначены для ограничения объема или сущности изобретения.

#### (57) Формула изобретения

1. Устройство маски для использования при измерении поступающего излучения

25 методом «сжатого измерения», содержащее:

одну или более одной кодирующих масок, каждая маска имеет корпус, сформированный из материала, который снижает интенсивность поступающего излучения;

каждая маска из указанных одной или более одной масок имеет множество областей

30 апертур маски, которые имеют более высокое пропускание излучения по сравнению с другими участками указанных одной или более масок, достаточное для восстановления результатов «сжатого измерения»;

указанные одна или более одной кодирующих масок выполнены с возможностью вращаться, причем

35 в случае, если указанное устройство маски содержит более одной кодирующей маски, по меньшей мере одна из кодирующих масок выполнена с возможностью вращаться относительно других кодирующих масок.

2. Устройство маски по п.1, которое имеет две кодирующие маски, причем указанные маски выполнены с возможностью вращаться одна относительно другой.

40 3. Устройство маски по п. 1 или 2, в котором указанные одна или более одной масок имеют цилиндрическую форму.

4. Устройство маски по п.3, которое имеет горизонтальное поле зрения 360°.

5. Устройство маски по любому из пп.1-4, в котором каждая маска из указанных одной или более одной масок имеет верхнюю и нижнюю части, при этом указанное

45 устройство маски также содержит защитный экран от излучения, который закрывает указанные верхнюю и нижнюю части масок.

6. Устройство маски по п. 1, в котором указанные одна или более одной масок являются полусферическими, сегментами сфер или сферическими.

7. Устройство маски по п.1, в котором указанные одна или более одной масок являются полусферическими, и указанное устройство маски имеет поле зрения 2л.

8. Устройство маски по п.1, в котором указанные одна или более одной масок являются сферическими.

5 9. Устройство маски по п.8, которое имеет поле зрения около 4л.

10. Устройство маски по любому одному из пп. 1-9, в котором указанное множество областей апертур каждой маски из указанных одной или более одной масок равно степени числа 2.

10 11. Устройство маски по любому из пп. 1-10, в котором каждая маска из указанных одной или более одной масок сформирована из материала, выбранного из группы, состоящей из: вольфрама, свинца, золота, тантала, гафния и их сплавов.

12. Устройство маски по п.1, в котором каждая маска из указанных одной или более одной масок сформирована из материала, который снижает интенсивность поступающего гамма-излучения.

15 13. Устройство маски по п.1, в котором каждая маска из указанных одной или более одной масок сформирована из материала, который снижает интенсивность поступающего оптического или инфракрасного излучения.

14. Устройство маски по п.1, в котором каждая маска из указанных одной или более одной масок сформирована из материала, который снижает интенсивность поступающего нейтронного излучения.

15. Устройство маски по любому из пп. 1-14, в котором каждая маска из указанных одной или более одной масок сформирована из материала, который снижает интенсивность поступающего гамма-излучения и нейтронного.

16. Устройство маски по п. 15, в котором часть указанных областей апертур маски являются областями, снижающими интенсивность гамма-лучей, а часть областей апертур маски являются областями, снижающими интенсивность нейтронов.

17. Устройство маски по любому из пп. 1-16, содержащее несколько масок, причем указанные несколько масок являются концентрическими.

18. Устройство маски по п.1, которое дополнительно содержит защитный экран от излучения, который окружает указанные одну или более одной масок,

при этом защитный экран от излучения имеет вырез, который ограничивает поле зрения детектора излучения, расположенного внутри указанных одной или более одной масок.

19. Устройство маски по п.18, в котором защитный экран от излучения является цилиндрическим.

20. Устройство маски по п.19, в котором защитный экран от излучения имеет дугообразный вырез, который ограничивает поле зрения детектора излучения дугой, определяемой указанным вырезом.

21. Устройство маски по п.18, в котором каждая маска из указанных одной или более одной масок имеет верхнюю часть и нижнюю часть, и указанное устройство маски также содержит дополнительный защитный экран от излучения, который закрывает указанные верхнюю часть и нижнюю часть указанных масок.

22. Способ детектирования излучения, характеризующийся тем, что выполняют измерения методом «сжатого измерения» с помощью детектора излучения, находящегося внутри устройства маски по любому из пп.1-21.

23. Способ детектирования излучения по п.22, в котором указанное детектирование излучения выполняют в процессе выведения из эксплуатации старых реакторов, или при дезактивации, или при контроле за состоянием окружающей среды, или при

диагностической визуализации, или при проведении астрономических исследований, или при проверке безопасности объектов.

24. Устройство для визуализации излучения посредством «сжатого измерения», содержащее

5 устройство маски по любому из пп.1-21, и

по меньшей мере один детектор излучения, расположенный внутри указанного устройства маски,

при этом указанное устройство для визуализации излучения выполнено с возможностью выполнять «сжатые измерения» и формировать данные визуализации излучения из указанных «сжатых измерений».

10

25. Устройство для визуализации излучения по п.24, в котором указанный по меньшей мере один детектор излучения содержит:

i) по меньшей мере один детектор гамма-лучей, так что указанное устройство для визуализации излучения представляет собой устройство для визуализации гамма-излучения,

15

ii) по меньшей мере один детектор нейтронного излучения, так что указанное устройство для визуализации излучения представляет собой устройство для визуализации нейтронного излучения,

iii) по меньшей мере один детектор излучения гамма-лучей и по меньшей мере один детектор нейтронного излучения, так что указанное устройство для визуализации излучения представляет собой устройство для визуализации гамма-излучения и нейтронного излучения,

20

iv) по меньшей мере один детектор двойной модальности, или

v) по меньшей мере один детектор двойной модальности, который воспринимает

25

гамма-лучи и нейтроны.

26. Устройство для визуализации излучения по п.25, которое выполнено с возможностью формировать оптическое изображение, инфракрасное изображение или изображение на других длинах волн и выводить данные изображения.

27. Устройство для визуализации излучения по п.25 или 26, которое выполнено с возможностью накладывать указанные данные визуализации излучения и оптическое или инфракрасное изображение, соответствующие общему полю зрения.

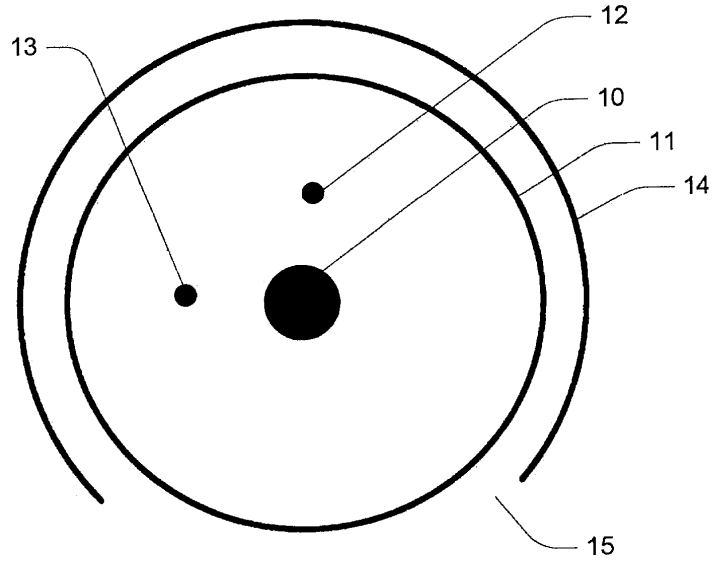
35

40

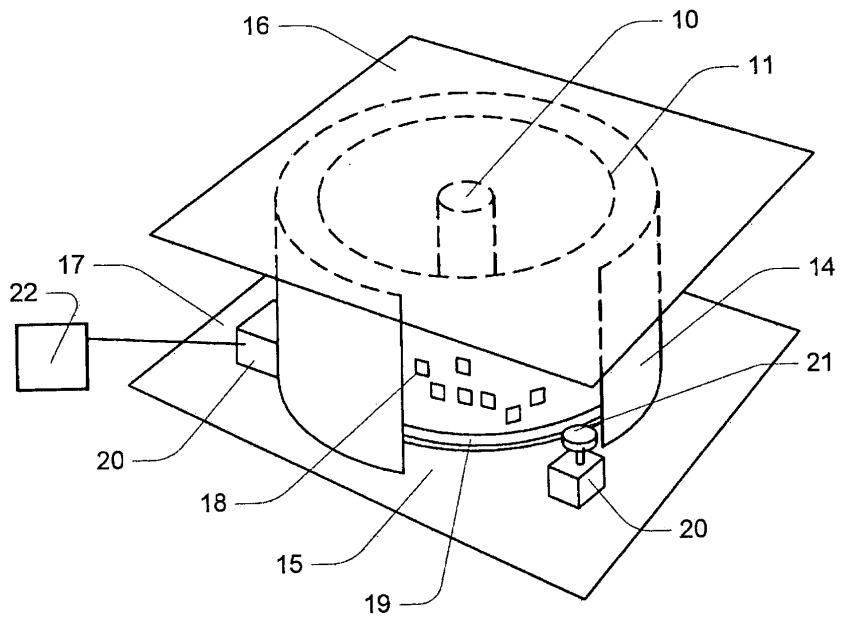
45

1

1/9

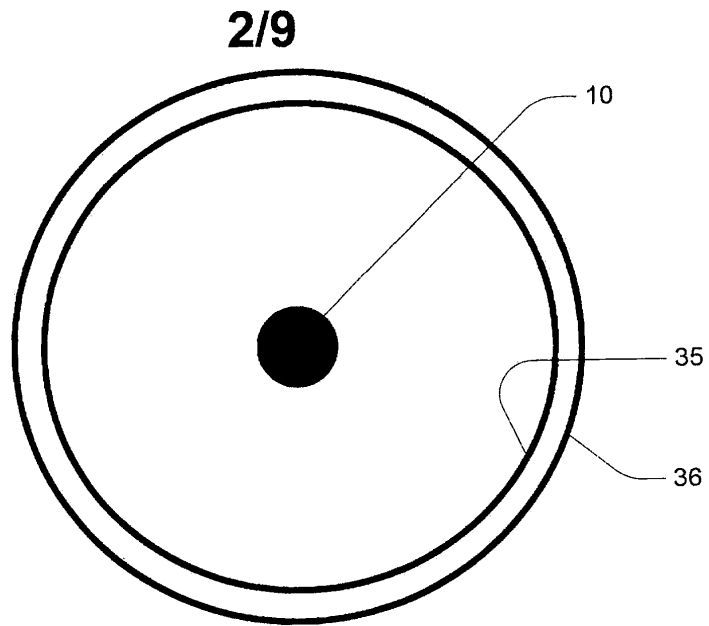


ФИГ. 1

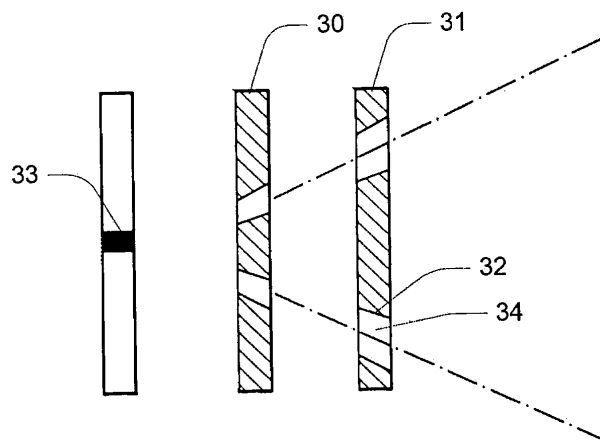


ФИГ. 2

2

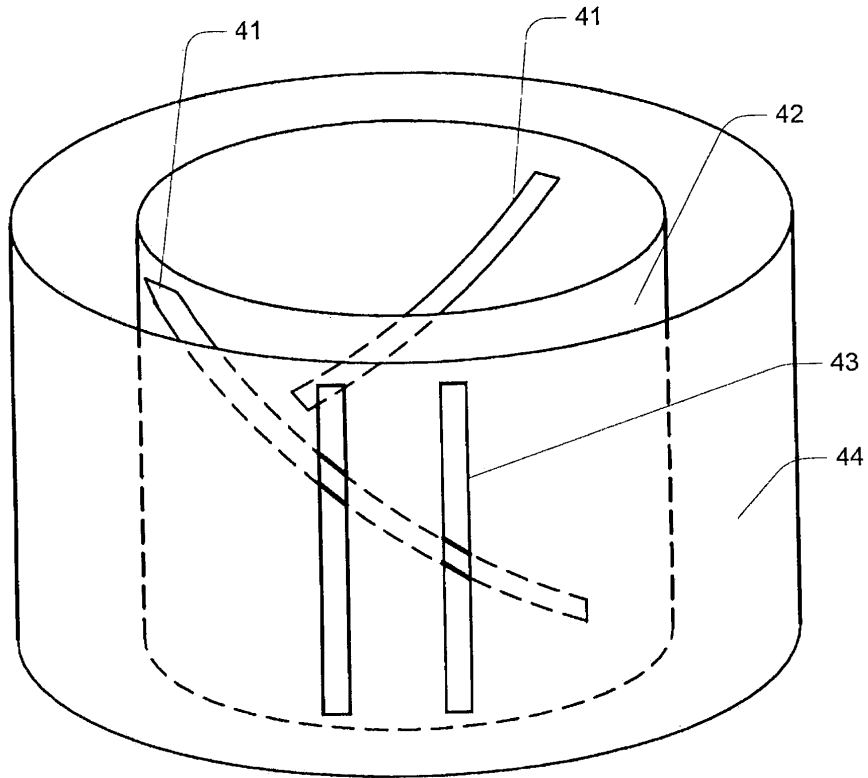


ФИГ. 3



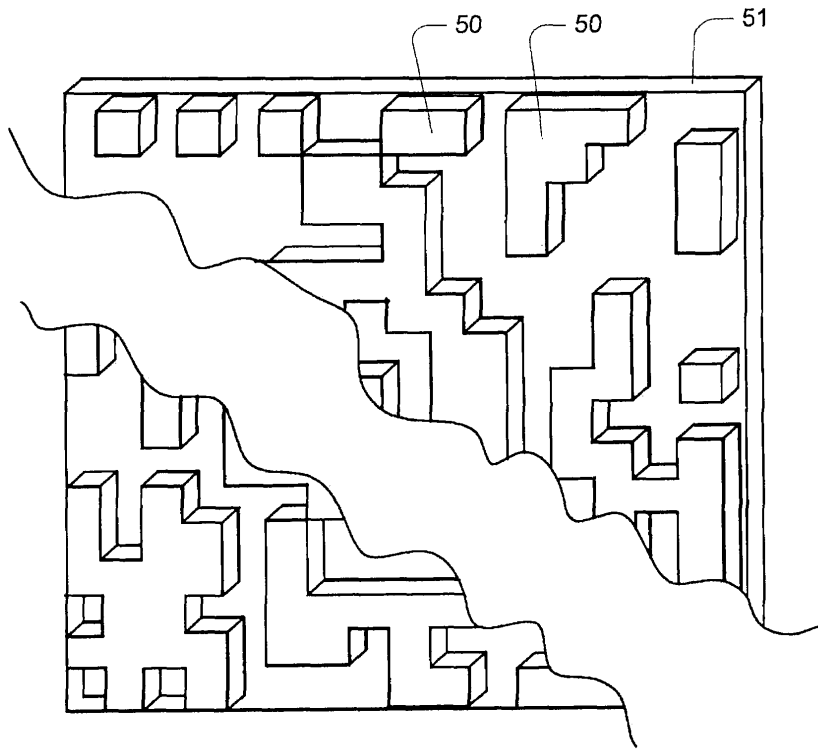
ФИГ. 4

3/9



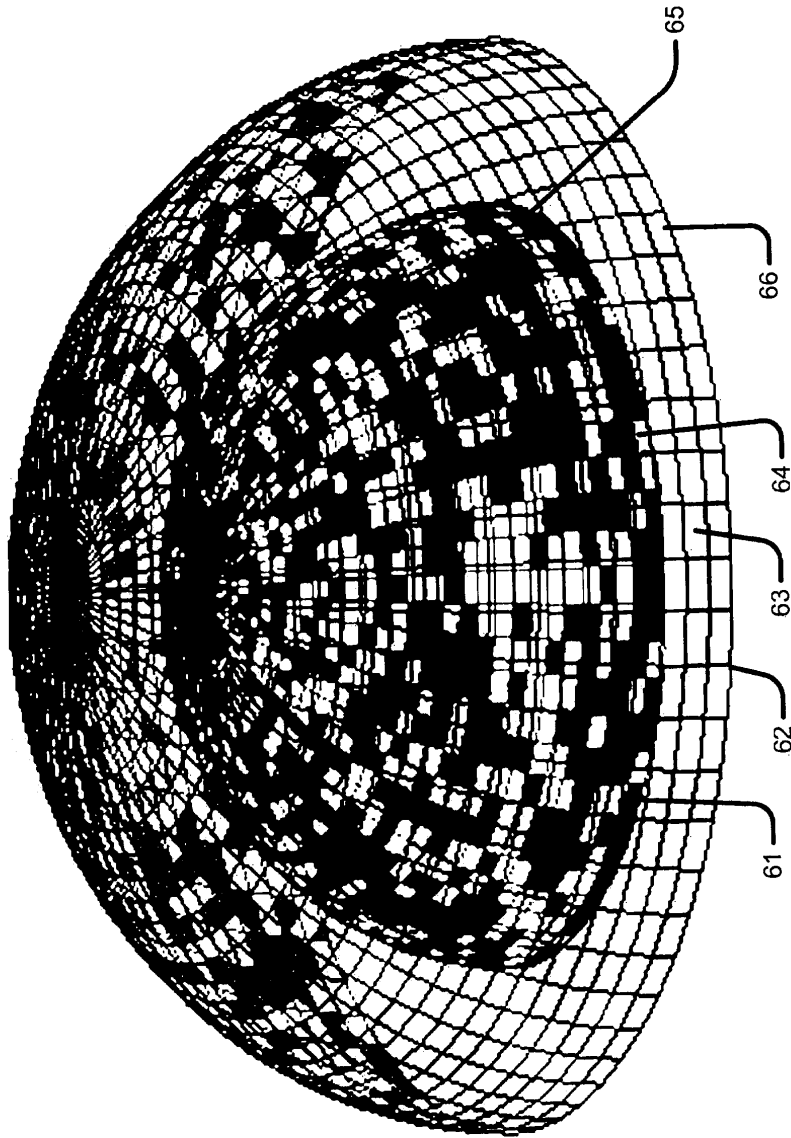
Фиг. 5

4/9



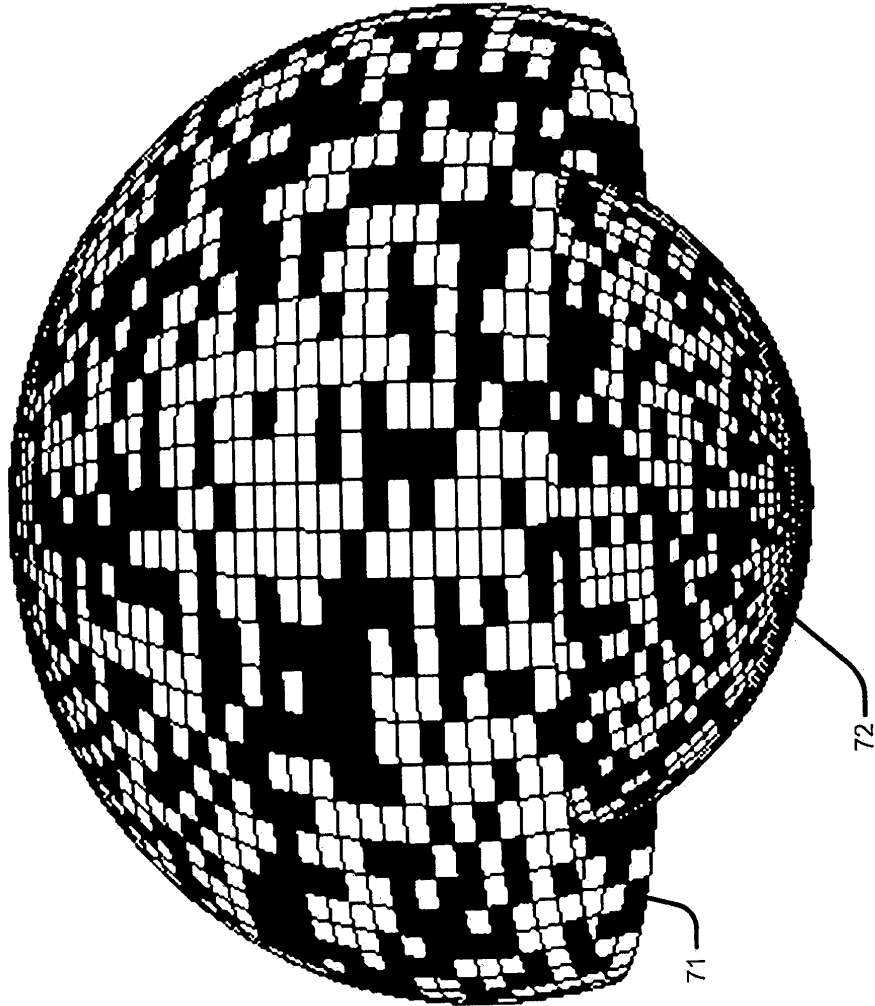
Фиг. 6

5/9



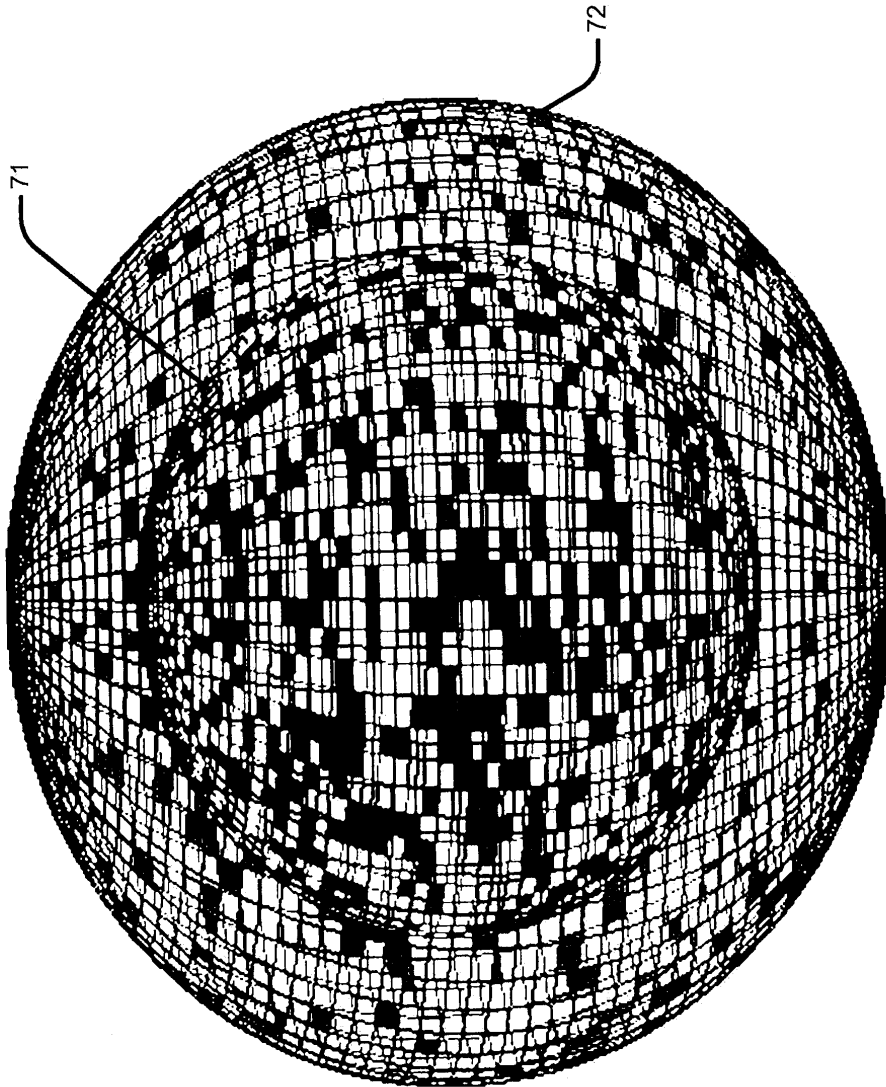
ФИГ. 7

6/9



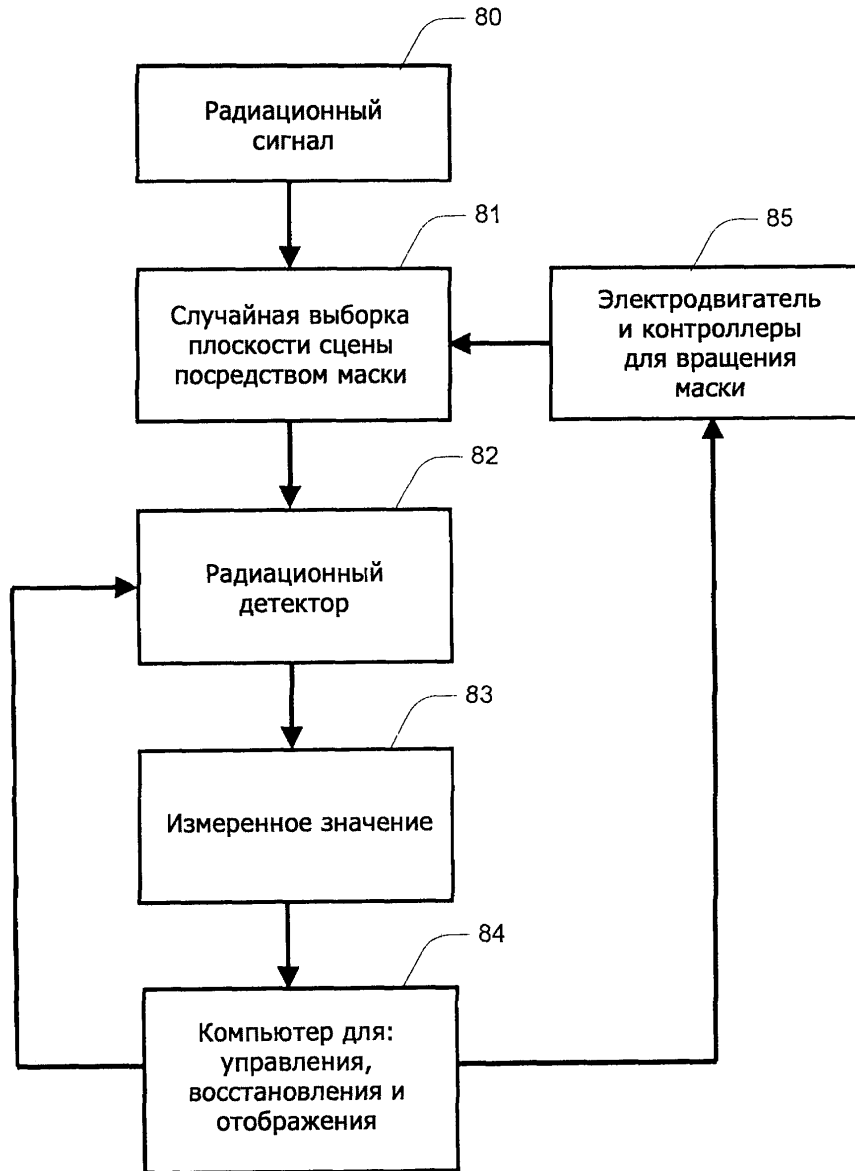
ФИГ. 8

7/9



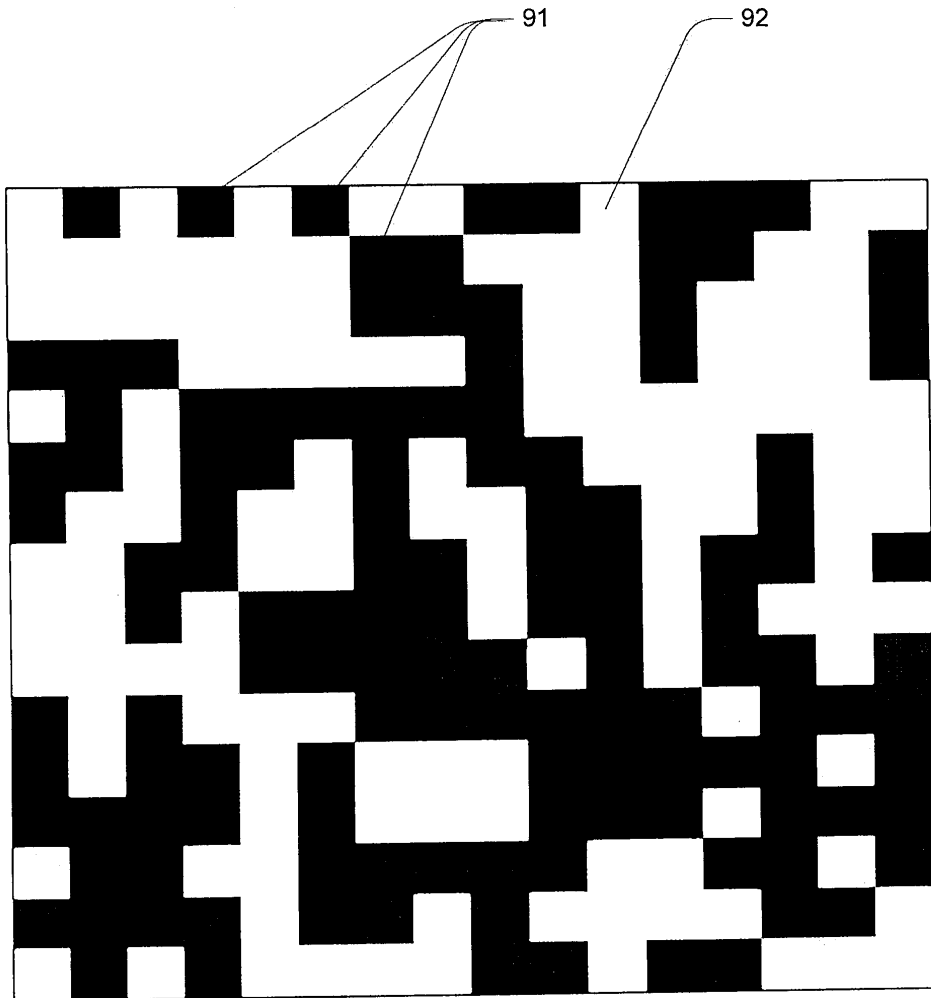
ФИГ. 9

8/9



Фиг. 10

9/9



Фиг. 11