



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01N 23/222 (2022.02)

(21)(22) Заявка: 2021138470, 23.12.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
23.12.2021

Дата регистрации:  
14.04.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.12.2021

(45) Опубликовано: 14.04.2022 Бюл. № 11

Адрес для переписки:

127030, Москва, Суцеская ул., 22, ФГУП  
"ВНИИА", начальнику отдела 0036 С. В.  
Жмайло, начальник подр.0036, С. В. Жмайло

(72) Автор(ы):

Каретников Максим Донатович (RU),  
Мазницин Антон Дмитриевич (RU),  
Батяев Вячеслав Феликсович (RU),  
Юрков Дмитрий Игоревич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное унитарное  
предприятие "Всероссийский  
научно-исследовательский институт  
автоматики им.Н.Л.Духова" (ФГУП  
"ВНИИА") (RU)

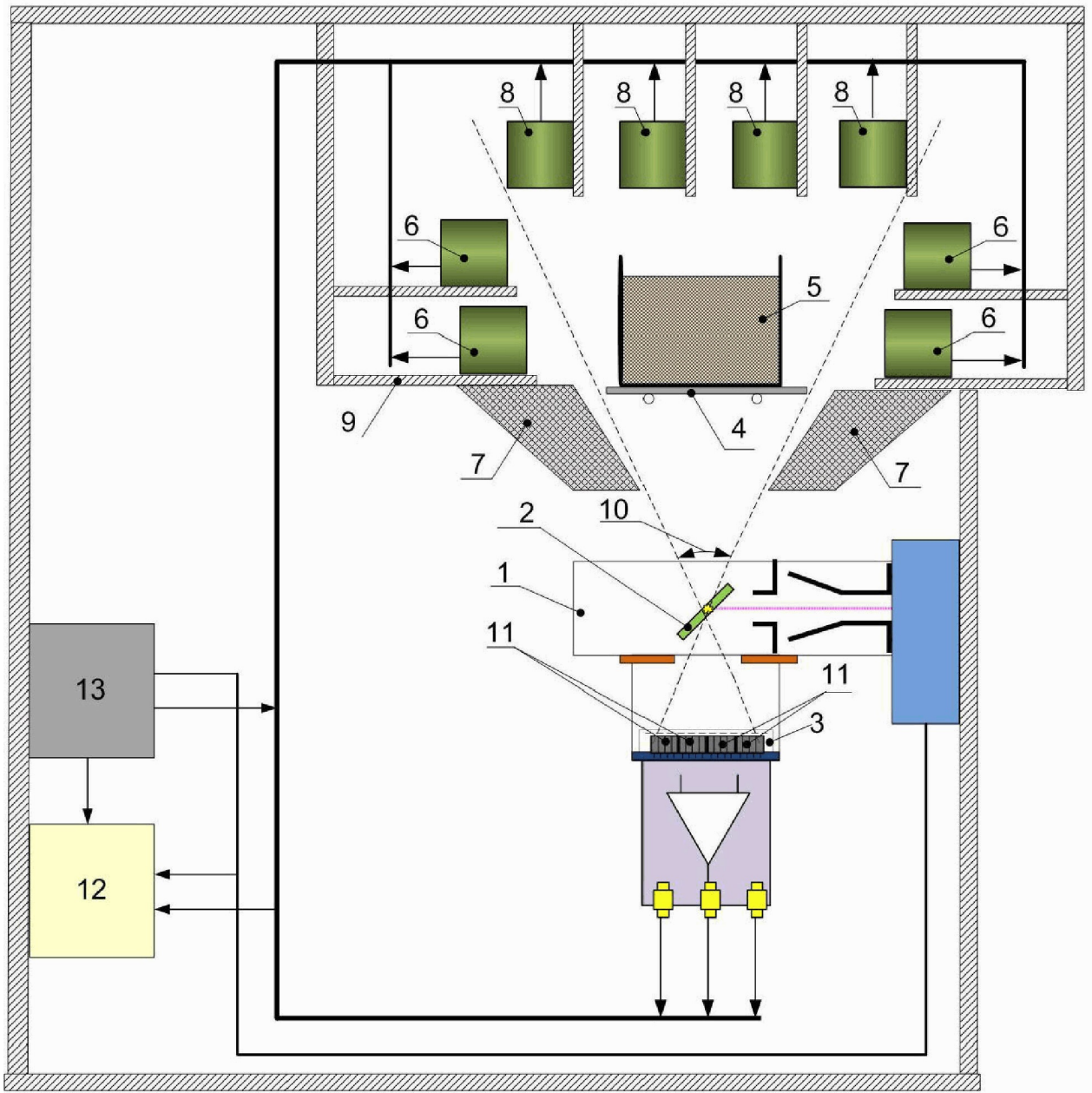
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2648105 C1, 22.03.2018. RU 137122  
U1, 27.01.2014. RU 2685047 C1, 16.04.2019. US  
2019094157 A1, 28.03.2019.

(54) Нейтронный блок сепаратора алмазосодержащей руды

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области анализа материалов радиационными методами, измерения вторичного излучения при облучении быстрыми нейтронами и может быть использована для определения элементного состава вещества в исследуемом объекте с помощью нейтронного активационного анализа, в частности, обнаружения алмазов в алмазосодержащей руде. Устройство содержит нейтронный генератор со встроенным многоэлементным альфа-детектором, детекторы гамма-излучения, систему анализа данных, систему питания, нейтронный генератор и система анализа данных соединены с системой питания, альфа-детектор и детекторы гамма-излучения соединены с системой анализа данных и системой питания, детекторы гамма-излучения нейтронного блока расположены в виде двух групп: детекторы гамма-излучения первой группы снабжены защитой от нейтронного излучения и расположены вне потока меченых нейтронов, детекторы гамма-излучения второй группы

расположены в потоке меченых нейтронов, каждому детектору гамма-излучения второй группы соответствуют пиксели режекции альфа-гамма совпадений, на которые приходят альфа-частицы, сопутствующие меченым нейтронам, попадающим на данный детектор гамма-излучения, система анализа данных с детекторов излучения выполнена по схеме совместной регистрации сигналов с альфа-детектора и детектора гамма-излучения второй группы во временном окне альфа-гамма совпадений только при отсутствии сигнала во временном окне альфа-гамма совпадений с пикселей режекции альфа-гамма совпадений, соответствующих данному детектору гамма-излучения. Технический результат - снижение требования к точности определения времени между моментом регистрации альфа-частиц альфа-детектором нейтронного генератора и моментом регистрации гамма-излучения в каждом из детекторов гамма-излучения второй группы. 3 ил.



Фиг. 1

Полезная модель относится к области анализа материалов радиационными методами, измерения вторичного излучения при облучении быстрыми нейтронами и может быть использована для определения элементного состава вещества в исследуемом объекте с помощью нейтронного активационного анализа, в частности обнаружения алмазов в кимберлите.

Известен нейтронный блок сепаратора алмазосодержащей руды (кимберлита), содержащий генератор меченых нейтронов, детекторы гамма-излучения, находящиеся вне поля меченых нейтронов, снабженный встроенным многоэлементным кремниевым альфа-детектором, систему анализа данных и систему питания; устройство снабжено защитой детекторов гамма-излучения от прямого попадания в них нейтронного излучения от генератора меченых нейтронов. Алмазосодержащая руда расположена в сосуде (лотке), сосуд при проведении измерений находится в поле меченых нейтронов. Патент РФ №2521723, МПК G01N 23/222, G01T 1/16, 10.07.2014.

Обнаружение алмазов производится по характеристическому гамма-излучению с основной линией 4,43 МэВ, возникающему при взаимодействии быстрых 14 МэВ нейтронов с ядрами углерода, входящими в состав алмазов. Для уменьшения уровня фона и локализации расположения алмаза используется генератор меченых нейтронов, снабженный многоэлементным альфа-детектором. В мишени нейтронного генератора в результате  $T(d,n)^4$  Не рождаются 14 МэВ нейтроны и альфа-частицы с энергией 3,5 МэВ, причем направления их вылета почти противоположные (с поправкой на угол 5-7 град). Многоэлементный альфа-детектор фиксирует координату сработавшего пикселя и время регистрации альфа-частиц. По этим данным можно оценить время вылета и направление движения 14 МэВ нейтрона в направлении исследуемого объекта, т.е. «пометить» нейтрон сопутствующей зарегистрированной альфа-частицей. Такие нейтроны называют мечеными. Исследуемый объект расположен в потоке меченых нейтронов, детекторы гамма-излучения находятся вне потока меченых нейтронов и защищены от нейтронов, выходящих из нейтронного генератора, защитой.

Расстояние  $L$  от мишени нейтронного генератора до места испускания гамма-кванта в результате неупругого рассеяния меченого нейтрона в исследуемом объекте можно определить путем измерения интервала  $\Delta t$  между временами регистрации гамма-кванта и сопутствующей меченому нейтрону альфа-частицы. Зная расстояние  $L$  и вектор движения меченого нейтрона относительно мишени нейтронного генератора, можно определить пространственные координаты места, где произошло испускание гамма-кванта при неупругом рассеянии меченого нейтрона в исследуемом объекте.

Для анализа пространственного распределения элементного состава вещества в протяженных неоднородных объектах условно разделяется исследуемый объект на отдельные «элементарные» объемы (воксели). Каждый воксель может быть определен в системе координат подобной сферической, представляемой номером сработавшего пикселя альфа-детектора (задающего угол направления на объект) и интервалом времени  $\Delta t$ , позволяющим определить расстояние от нейтронного генератора до объекта. В пределах вокселя элементный состав вещества считается однородным. Размер вокселя определяется угловым разрешением альфа-детектора и разрешением измерения времени альфа-гамма совпадений.

При неупругом рассеянии быстрых меченых нейтронов на ядрах элементов, входящих в состав исследуемого объекта, возникает характеристическое гамма-излучение, которое регистрируют детекторами гамма-излучения. Взаимодействие меченого нейтрона с ядром исследуемого объекта, приведших к испусканию гамма-кванта и регистрацией его детектором гамма-излучения, называется событием, которое представляется

следующими параметрами: номером сработавшего пикселя альфа-детектора, амплитудой сигнала с детектора гамма-излучения, временем между срабатыванием детектора гамма-излучения и альфа-детектора в заданном временном окне. Система анализа данных измеряет события и выполнена по схеме совместной регистрации сигналов с  
5 многоэлементного альфа-детектора и детекторов гамма-излучения, если они возникли во временном окне альфа-гамма совпадений. Началом временного окна альфа-гамма совпадений является регистрация сигнала с многоэлементного альфа-детектора, и размер временного окна устанавливается таким образом, чтобы можно было фиксировать время регистрации сигнала с детектора гамма-излучения относительно  
10 времени регистрации сигнала с многоэлементного альфа-детектора при пролете мечеными нейтронами всего исследуемого объекта.

По этим параметрам с помощью специальных алгоритмов система анализа данных рассчитывает место взаимодействия меченого нейтрона и причисляет событие к соответствующему вокселю. По совокупности событий определяется спектр гамма-  
15 излучения в каждом вокселе. Заключение о наличии либо отсутствии алмазов в облучаемом куске кимберлита делают на основании сравнения интенсивности линии характеристического гамма-излучения углерода с энергией 4,43 МэВ, измеренной в каждом из вокселей, с интенсивностью данной линии, соответствующей уровню фона, найденному путем усреднения по всем вокселям, принадлежащим облучаемому куску  
20 кимберлита, при этом критерием обнаружения алмазов в кимберлите является величина превышения интенсивности линии гамма-излучения с энергией 4,43 МэВ хотя бы в одном из вокселей над уровнем фона.

Недостатками данного устройства является низкая чувствительность (относительно большая минимальная масса обнаруживаемых алмазов). Минимальная масса  
25 обнаруживаемых алмазов зависит от вероятности регистрации характеристических гамма-квантов с энергией 4,43 МэВ, выходящих из алмаза, которая прямо пропорциональна суммарному телесному углу, под которым гамма-излучение из алмаза попадает во все детекторы гамма-излучения. Суммарный телесный угол может быть  
30 увеличен путем установки дополнительных детекторов гамма-излучения, однако в устройстве эта возможность конструктивно ограничена тем, что детекторы гамма-излучения должны находиться вне поля меченых нейтронов и должны быть снабжены защитой от прямого попадания нейтронов с нейтронного генератора. В устройстве детекторы гамма-излучения расположены над транспортером вокруг лотка с  
кимберлитом.

Известен нейтронный блок сепаратора алмазосодержащей руды, включающий  
35 нейтронный генератор, предназначенный для генерации потока меченых нейтронов и альфа-частиц, при этом в нейтронный генератор встроены многоэлементный альфа-детектор, и детекторы гамма-излучения, предназначенные для регистрации характеристического гамма-излучения, возникающего при облучении алмазосодержащей  
40 руды потоком меченых нейтронов, при этом детекторы гамма-излучения нейтронного блока расположены в виде двух групп:

первой группы детекторов гамма-излучения, расположенной вокруг и вне потока меченых нейтронов и снабженной защитой детекторов гамма-излучения от прямого  
попадания в них потока меченых нейтронов, и

45 второй группы детекторов гамма-излучения, расположенной в пределах потока меченых нейтронов, прошедшего через сосуд с алмазосодержащей рудой.

Патент РФ №2648105, МПК G01N 23/222, G01T 1/16, B07C 5/346, 22.03.2018. Данное техническое решение принято в качестве прототипа.

Устройство-прототип производит регистрацию спектров характеристического гамма-излучения ядер химических элементов, входящих в состав алмазосодержащей руды, и анализ зарегистрированных спектров характеристического гамма-излучения с целью вычленения из них сигнала углерода. По сравнению с нейтронным блоком сепаратора по патенту №2521723, содержащим только одну группу детекторов гамма-излучения, расположенных вне поля меченых нейтронов, устройство-прототип обеспечивает большой суммарный телесный угол, под которым гамма-излучение из алмаза попадает во все детекторы гамма-излучения, а следовательно, меньшую минимальную массу обнаруживаемых алмазов.

Недостатком устройства-прототипа является требование к высокому временному разрешению альфа-гамма совпадений - точности определения времени, между моментом регистрации альфа-частиц альфа-детектором нейтронного генератора и моментом регистрации гамма-излучения в каждом из детекторов гамма-излучения второй группы, находящихся в потоке меченых нейтронов.

Точность определения времени должна составлять менее 1 наносекунды (нс), например, менее 0,1 нс или менее 0,01 нс, как в прототипе. Это сильно сужает тип детекторов гамма-излучения второй группы. При временном разрешении альфа-гамма совпадений больше 1 нс сигналы, вызванные характеристическим гамма-квантами, возникающими при прохождении меченых нейтронов через сосуд с алмазосодержащей рудой, нельзя будет отделить от сигналов, возникающих при прямом попадании на детектор гамма-излучения нейтронов из генератора меченых нейтронов. Это приведет к увеличению фона на несколько порядков и невозможности обеспечить высокую чувствительность обнаружения алмазов. Поэтому в детекторах гамма-излучения второй группы устройства-прототипа нельзя использовать высокоэффективные и экономичные детекторы гамма-излучения на основе NaI(Tl) и BGO-сцинтилляторов, собственное временное разрешение которых больше 1 нс (1,5 нс и 2,5 нс, соответственно).

Техническим результатом заявленного предложения является снижение требования к точности определения времени, между моментом регистрации альфа-частиц альфа-детектором нейтронного генератора и моментом регистрации гамма-излучения в каждом из детекторов гамма-излучения второй группы, находящихся в потоке меченых нейтронов.

Технический результат достигается тем, что нейтронный блок сепаратора алмазосодержащей руды, содержащий нейтронный генератор с нейтронообразующей мишенью, предназначенный для генерации потока меченых нейтронов и альфа-частиц, при этом в нейтронный генератор встроен многоэлементный альфа-детектор; детекторы гамма-излучения, предназначенные для регистрации характеристического гамма-излучения, возникающего при облучении алмазосодержащей руды потоком меченых нейтронов, систему анализа данных, предназначенную для сбора и анализа данных, получаемых от альфа-детектора и детекторов гамма-излучения нейтронного блока, систему питания, при этом детекторы гамма-излучения нейтронного блока расположены в виде двух групп: детекторов гамма-излучения первой группы, расположенной вокруг и вне потока меченых нейтронов и снабженной защитой детекторов гамма-излучения от прямого попадания в них нейтронов, и детекторов гамма-излучения второй группы, расположенной в пределах потока меченых нейтронов, прошедшего через сосуд с алмазосодержащей рудой, при этом нейтронный генератор и система анализа данных соединены с системой питания, альфа-детектор и детекторы гамма-излучения соединены с системой анализа данных и системой питания, каждому детектору гамма-излучения второй группы соответствуют пиксели режекции альфа-гамма совпадений, на которые

приходят альфа-частицы, сопутствующие меченым нейтронам, попадающим на данный детектор гамма-излучения, система анализа данных с детекторов излучения выполнена по схеме совместной регистрации сигналов с альфа-детектора и детектора гамма-излучения второй группы во временном окне альфа-гамма совпадений только при  
 5 отсутствии сигнала во временном окне альфа-гамма совпадений с пикселей режекции альфа-гамма совпадений, соответствующих данному детектору гамма-излучения второй группы, при этом нейтронный генератор, детекторы гамма-излучения, защита, система анализа данных, система питания закреплены на силовом каркасе и соединены с силовым  
 10 каркасом свинчиванием, количество детекторов гамма-излучения первой группы и второй группы должно быть шестнадцать в каждой группе.

Сущность заявляемого устройства поясняется чертежами, где:

- 1 - нейтронный генератор,
- 2 - нейтронообразующая мишень,
- 3 - многоэлементный альфа-детектор,
- 15 4 - транспортер,
- 5 - сосуд с алмазосодержащей рудой,
- 6 - детекторы гамма-излучения первой группы,
- 7 - защита
- 8 - детекторы гамма-излучения второй группы,
- 20 9 - силовой каркас,
- 10 - поток меченых нейтронов,
- 11 - пиксели режекции альфа-гамма совпадений, на которые приходят альфа-частицы, сопутствующие меченым нейтронам, попадающим на детектор 8 гамма-излучения второй группы,
- 25 12 - система анализа данных,
- 13 - система питания.

На фиг.1 приведен эскиз заявляемого устройства.

На фиг.2 иллюстративно показано расположение детекторов гамма-излучения второй группы относительно профиля потока меченых нейтронов.

30 На фиг.3 приведено расположение на многоэлементном альфа-детекторе пикселей режекции альфа-гамма совпадений для детекторов гамма-излучения второй группы, показанных на Фиг.2.

Нейтронный блок сепаратора алмазосодержащей руды (фиг.1) содержит нейтронный генератор 1 с нейтронообразующей мишенью 2, предназначенный для генерации потока  
 35 10 меченых нейтронов и альфа-частиц, при этом в нейтронный генератор 1 встроены многоэлементный альфа-детектор 3; детекторы гамма-излучения 6, 8, предназначенные для регистрации характеристического гамма-излучения, возникающего при облучении алмазосодержащей руды потоком 10 меченых нейтронов, систему анализа данных 12, предназначенную для сбора и анализа данных, получаемых от альфа-детектора 3 и  
 40 детекторов гамма-излучения 6, 8 нейтронного блока, систему питания 13, при этом детекторы 6, 8 гамма-излучения нейтронного блока расположены в виде двух групп: детекторов 6 гамма-излучения первой группы, расположенной вокруг и вне потока 10 меченых нейтронов и снабженной защитой 7 детекторов гамма-излучения от прямого попадания в них нейтронов, и детекторов 8 гамма-излучения второй группы,  
 45 расположенной в пределах потока 10 меченых нейтронов, прошедшего через сосуд 5 с алмазосодержащей рудой, при этом нейтронный генератор 1 и система 12 анализа данных соединены с системой 13 питания, альфа-детектор 3 и детекторы 6, 8 гамма-излучения соединены с системой 12 анализа данных и системой питания 13, при этом

каждому детектору 8 гамма-излучения второй группы соответствуют пиксели 11 режекции альфа-гамма совпадений, на которые приходят альфа-частицы, сопутствующие меченым нейтронам, попадающим на данный детектор 8 гамма-излучения, система 12 анализа данных с детекторов излучения выполнена по схеме совместной регистрации сигналов с альфа-детектора 3 и детектора 8 гамма-излучения второй группы во временном окне альфа-гамма совпадений только при отсутствии сигнала во временном окне альфа-гамма совпадений с пикселей 11 режекции альфа-гамма совпадений, соответствующих данному детектору 8 гамма-излучения второй группы, при этом нейтронный генератор 1 с нейтронообразующей мишенью 2 и встроенным многоэлементным альфа-детектором 3, детекторы 6, 8 гамма-излучения, защита 7, система 12 анализа данных, система питания 13 закреплены на силовом каркасе 9 и соединены с силовым каркасом 9 свинчиванием, количество детекторов гамма-излучения первой группы 6 и второй группы 8 должно быть шестнадцать в каждой группе.

Сосуд 5 с алмазосодержащей рудой, подаваемый в нейтронный блок на транспортере 4, находится полностью в потоке 10 меченых нейтронов.

Каждому детектору 8 гамма-излучения соответствуют в альфа-детекторе 3 пиксели 11, регистрирующие альфа-частицы, сопутствующие меченым нейтронам, попадающим на данный детектор 8 гамма-излучения второй группы.

Устройство работает следующим образом.

При испускании каждого меченого нейтрона из нейтронного генератора 1 одновременно из нейтронообразующей мишени 2 выходит альфа-частица с энергией 3,5 МэВ, попадает на многоэлементный альфа-детектор 3 и вызывает появление сигнала с пикселя альфа-детектора 3. Телесный угол потока 10 меченых нейтронов определяется размерами альфа-детектора 3 и расстоянием от альфа-детектора 3 до нейтронообразующей мишени 2. Сосуд 5 с алмазосодержащей рудой с помощью транспортера 4 подается в область потока 10 меченых нейтронов.

Проходя через исследуемый сосуд 5 с алмазосодержащей рудой, меченые нейтроны вступают в реакции неупругого рассеяния на ядрах веществ, содержащихся в алмазосодержащей руде. В результате этих реакций испускаются гамма-кванты, часть из которых попадает на детекторы 6 и 8 гамма-излучения, вызывая появление с них сигналов. Место испускания гамма-кванта в результате неупругого рассеяния меченого нейтрона в сосуде 5 с алмазосодержащей рудой можно определить путем измерения интервала времени между регистрацией гамма-кванта детектором 6 или 8 гамма-излучения и регистрацией сопутствующей меченому нейтрону альфа-частицы пикселем альфа-детектора 3, а также определения номера сработавшего пикселя альфа-детектора 3.

Система 12 анализа данных выполнена по схеме совместной регистрации сигналов с многоэлементного альфа-детектора 3 и детектора 6 или 8 гамма-излучения во временном окне альфа-гамма совпадений. Началом временного окна альфа-гамма совпадений является регистрация сигнала с многоэлементного альфа-детектора 3, и временное окно устанавливается таким образом, чтобы можно было фиксировать время регистрации сигнала с детектора 6 или 8 гамма-излучения относительно времени регистрации сигнала с многоэлементного альфа-детектора 3 при пролете мечеными нейтронами сосуда 5 с алмазосодержащей рудой. На детекторы 6 гамма-излучения меченые нейтроны напрямую не попадают, однако, поскольку из нейтронообразующей мишени 2 нейтронного генератора 1 нейтроны испускаются практически изотропно, часть нейтронов направляется в сторону детекторов 6 гамма-излучения, вызывая в них появление случайным образом фоновых сигналов во временном окне альфа-гамма

совпадений. Для уменьшения фона используется защита 7, частично поглощающая нейтроны и вызываемое ими в защите 7 гамма-излучение.

В детекторы 8 гамма-излучения второй группы меченые нейтроны из нейтронного генератора 1 попадает напрямую и вызывают появление на них сигналов. Эти сигналы производят фоновые события во временном окне альфа-гамма совпадений. Вероятность регистрации таких фоновых событий во временном окне альфа-гамма совпадений гораздо выше (на несколько порядков) по сравнению с вероятностью регистрации характеристических гамма-квантов, вылетающих из сосуда 5 с алмазосодержащей рудой, при прохождении в нем меченых нейтронов. Эти фоновые события необходимо режектировать. В устройстве-прототипе такие фоновые события режектируются по времени, поскольку характеристические гамма-кванты, вылетающих из сосуда 5 с алмазосодержащей рудой, приходят на детекторы 8 гамма-излучения раньше, чем меченые нейтроны из нейтронного генератора 1. Однако для реализации такого метода подавления фона с помощью временной селекции событий необходимо обеспечить временное разрешение альфа-гамма совпадений менее 1 наносекунды.

Заявляемое устройство обеспечивает режекцию фона с помощью не временной, а пространственной селекции событий, являющейся активной нейтронной защитой, использующий метод антисовпадений.

Для режекции фоновых событий в заявляемом устройстве для каждого детектора 8 гамма-излучения предварительно определяют в альфа-детекторе 3 пиксели 11 режекции альфа-гамма совпадений, на которые приходят альфа-частицы, сопутствующие меченым нейтронам, попадающим на данный детектор 8 гамма-излучения. При наличии во временном окне альфа-гамма совпадений сигналов с детектора 8 гамма-излучения и с пикселей 11 режекции альфа-гамма совпадений событие режектируется. Таким образом, фоновые события, обусловленные прямым попаданием меченых нейтронов из нейтронного генератора 1 на детектор 8 гамма-излучения, в заявляемом устройстве отсутствуют. При наличии во временном окне альфа-гамма совпадений сигналов с детектора 8 гамма-излучения с любыми пикселями альфа-детектора 3, кроме пикселей 11 режекции альфа-гамма совпадений происходит регистрация события.

Генератор 1 меченых нейтронов, детекторы 6 и 8 гамма-излучения, защита 7, система 12 анализа данных, система 13 питания закреплены на силовом каркасе 9 и соединены с силовым каркасом 9 сборочными операциями, например, свинчиванием. Продольные и поперечные размеры силового каркаса 9 могут изменяться в зависимости от расстояния между детекторами 6 и 8 гамма-излучения и нейтронообразующей мишенью 2 нейтронного генератора 1, размеров детекторов 6 и 8 гамма-излучения, массы защиты 7. Транспортёр 4, который подает сосуд 5 с алмазосодержащей рудой в область потока 10 меченых нейтронов, проходит внутри нейтронного блока и установлен таким образом, что его расположение относительно силового каркаса 9 остается неизменным. Силовой каркас обеспечивает постоянство пространственного расположения (профиля) потока меченых нейтронов из генератора 1 относительно детекторов 6 и 8 гамма-излучения, защиты 7, сосуда 5 с алмазосодержащей рудой и отсутствие флуктуаций результатов измерения из-за изменения расположения этих элементов относительно потока меченых нейтронов.

Количество детекторов гамма-излучения 6 первой группы и количество детекторов гамма-излучения 8 второй группы должно быть не менее шестнадцати в каждой группе для обеспечения высокой чувствительности обнаружения алмазов. (На фиг.1 для упрощения показано меньшее количество детекторов гамма-излучения 6 первой группы и гамма-излучения 8 второй группы). Это обусловлено тем, что чувствительность

(минимальная масса обнаруживаемого алмаза  $m$ ) зависит от вероятности регистрации (детекторами 6 и 8 гамма-излучения гамма-квантов, возникающих в алмазе под воздействием меченых нейтронов, по закону  $m \sim 1/\epsilon^k$ , где  $k$  может меняться от 0,5 до 1 в зависимости от соотношения полезных и фоновых событий. Вероятность регистрации (пропорциональна телесному углу  $\theta$ , под которым гамма-кванты из алмаза вылетают в направлении детекторов 6 и 8 гамма-излучения. Телесный угол  $\theta$  снижается с уменьшением количества детекторов 6 и 8 гамма-излучения. Поэтому чувствительность обнаружения алмазов ухудшается при уменьшении количества гамма-детекторов 6, 8, и при количестве детекторов гамма-излучения 6 первой группы и количестве детекторов гамма-излучения 8 второй группы менее шестнадцати в каждой группе минимальная масса обнаруживаемого алмаза будет больше пяти карат, что является неприемлемым для сепаратора алмазосодержащей руды.

Система 13 питания обеспечивает электрическое питание системы 12 анализа, детекторов 6 и 8 гамма-излучения, альфа-детектора 3, нейтронного генератора 1.

Заявляемое устройство может быть осуществлено с использованием коммерчески доступного оборудования. Например, нейтронный генератор 1 типа ИНГ-27 с тритиевой нейтроннообразующей мишенью 2 256-пиксельным альфа-детектором 3 производства ВНИИ автоматики им. Н.Л. Духова обеспечивает поток нейтронов до  $5 \cdot 10^7$  нейтронов/сек. Пиксели в 256-пиксельном альфа-детекторе 3 расположены в виде матрицы размерностью 16x16, каждый пиксель имеет размер 4x4 мм. Примерно 7% всех испускаемых нейтронов сопровождаются регистрацией альфа-частиц встроенным многоэлементным альфа-детектором 3 и являются мечеными. Сосуд 5 с алмазосодержащей рудой подается в поток 10 меченых нейтронов на транспортере 4. Для регистрации характеристических гамма-квантов, вылетающих из сосуда 5 с алмазосодержащей рудой, используются шестнадцать детекторов 6 гамма-излучения первой группы на основе кристаллов ВГО диаметром 76 мм и высотой 63 мм, экранированных от потока меченых нейтронов защитой 7 из железа, и шестнадцать аналогичных детекторов 8 гамма-излучения второй группы, расположенных на одинаковом расстоянии от нейтроннообразующей мишени равным 400 мм. Расстояние между центрами детекторов 8 гамма-излучения второй группы составляет 100 мм.

В системе 12 анализа данных для регистрации сигналов от 256-пиксельного альфа-детектора 3 используется одна плата БАД-256, для регистрации сигналов от 32 детекторов 6 и 8 гамма-излучения используются шесть плат БГД-6 производства ВНИИ автоматики им. Н.Л. Духова, для обработки данных используется одноплатный компьютер типа EmCORE-i89M2-6822EQ производства Arbor Technology, установленные в крейте №1 с общими шинами питания, управления и передачи данных. Для реализации системы 13 питания детекторов 6 и 8 гамма-излучения, альфа-детектора 3, нейтронного генератора 1 крейте №2 установлены шесть плат БВН-8 и одна плата БВН-6-1Н-1А производства ВНИИ автоматики им. Н.Л. Духова детекторов [Нейтронные генераторы для элементного анализа веществ и материалов. URL:<http://vniia.ru/production/neitronnie-generatory/elementniy-analiz/neytronnye-generatory-dlya-elementnogo-analiza-veshchestv-i-materialov.php>]. Генератор 1 меченых нейтронов, детекторы 6 и 8 гамма-излучения, защита 7, крейт №1, содержащий систему 12 анализа данных, крейт №2, содержащий систему 13 питания, привинчены к стальному силовому каркасу 9.

Пиксели 11 режекции альфа-гамма совпадений определяются для каждого детектора 8 гамма-излучения заранее расчетным или экспериментальным путем, в последнем случае в режиме генерации меченых нейтронов нейтронным генератором 1 в отсутствие сосуда 5 с алмазосодержащей рудой, когда меченых нейтроны напрямую без

взаимодействия с какими-либо объектами попадают на детекторы 8 гамма-излучения.

Рассмотрим для примера регистрацию событий для детектора 8 гамма-излучения, обозначенного ГД2 на фиг.2. Для данного детектора 8 гамма-излучения номера пикселей 11 режекции альфа-гамма совпадений соответствуют пересечению строк (X9-X12) и столбцов (Y13-Y16) (фиг. 3). При испускании меченого нейтрона производится регистрация альфа-частицы одним из пикселей альфа-детектором 3 и вырабатывается фиксированное по длительности временное окно длительностью 50 нс. Если номер сработавшего пикселя совпадает с одним из номеров пикселей 11 режекции альфа-гамма совпадений для данного детектора 8 гамма-излучения (соответствуют пересечению строк X9-X12 и столбцов Y13-Y16), то событие является фоновым и режектируется (исключается и не регистрируется). Для любого другого пикселя альфа-детектора 3 событие регистрируется. Это позволяет устранить фоновые события, обусловленные попаданием нейтронов из нейтронного генератора 1 в детекторы 8 гамма-излучения.

Поскольку заявляемое устройство обеспечивает режекцию фона с помощью не временной, а пространственной селекции событий, временное разрешение альфа-гамма совпадений может быть больше 1 наносекунды, и в детекторах 8 гамма-излучения второй группы могут использоваться детекторы гамма-излучения на основе NaI(Tl) и BGO-сцинтилляторов, собственное временное разрешение которых 1,5 нс и 2,5 нс, соответственно.

Таким образом, достигается заявленный технический результат, а именно снижается требование к точности определения времени, между моментом регистрации альфа-частиц альфа-детектором 3 нейтронного генератора 1 и моментом регистрации гамма-излучения в каждом из детекторов 8 гамма-излучения второй группы, находящихся в потоке меченых нейтронов.

25

#### (57) Формула полезной модели

Нейтронный блок сепаратора алмазосодержащей руды, содержащий нейтронный генератор с нейтронообразующей мишенью, предназначенный для генерации потока меченых нейтронов и альфа-частиц, при этом в нейтронный генератор встроен многоэлементный альфа-детектор; детекторы гамма-излучения, предназначенные для регистрации характеристического гамма-излучения, возникающего при облучении алмазосодержащей руды потоком меченых нейтронов, систему анализа данных, предназначенную для сбора и анализа данных, получаемых от альфа-детектора и детекторов гамма-излучения нейтронного блока, систему питания, при этом детекторы гамма-излучения нейтронного блока расположены в виде двух групп: детекторов гамма-излучения первой группы, расположенной вокруг и вне потока меченых нейтронов и снабжённой защитой детекторов гамма-излучения от прямого попадания в них нейтронов, и детекторов гамма-излучения второй группы, расположенной в пределах потока меченых нейтронов, прошедшего через сосуд с алмазосодержащей рудой, при этом нейтронный генератор и система анализа данных соединены с системой питания, альфа-детектор и детекторы гамма-излучения соединены с системой анализа данных и системой питания, отличающийся тем, что каждому детектору гамма-излучения второй группы соответствуют пиксели режекции альфа-гамма совпадений, на которые приходят альфа-частицы, сопутствующие меченым нейтронам, попадающим на данный детектор гамма-излучения, система анализа данных с детекторов излучения выполнена по схеме совместной регистрации сигналов с альфа-детектора и детектора гамма-излучения второй группы во временном окне альфа-гамма совпадений только при отсутствии сигнала во временном окне альфа-гамма совпадений с пикселей режекции альфа-гамма

совпадений, соответствующих данному детектору гамма-излучения второй группы, при этом нейтронный генератор, детекторы гамма-излучения, защита, система анализа данных, система питания закреплены на силовом каркасе и соединены с силовым каркасом свинчиванием, количество детекторов гамма-излучения первой группы и второй группы должно быть шестнадцать в каждой группе.

10

15

20

25

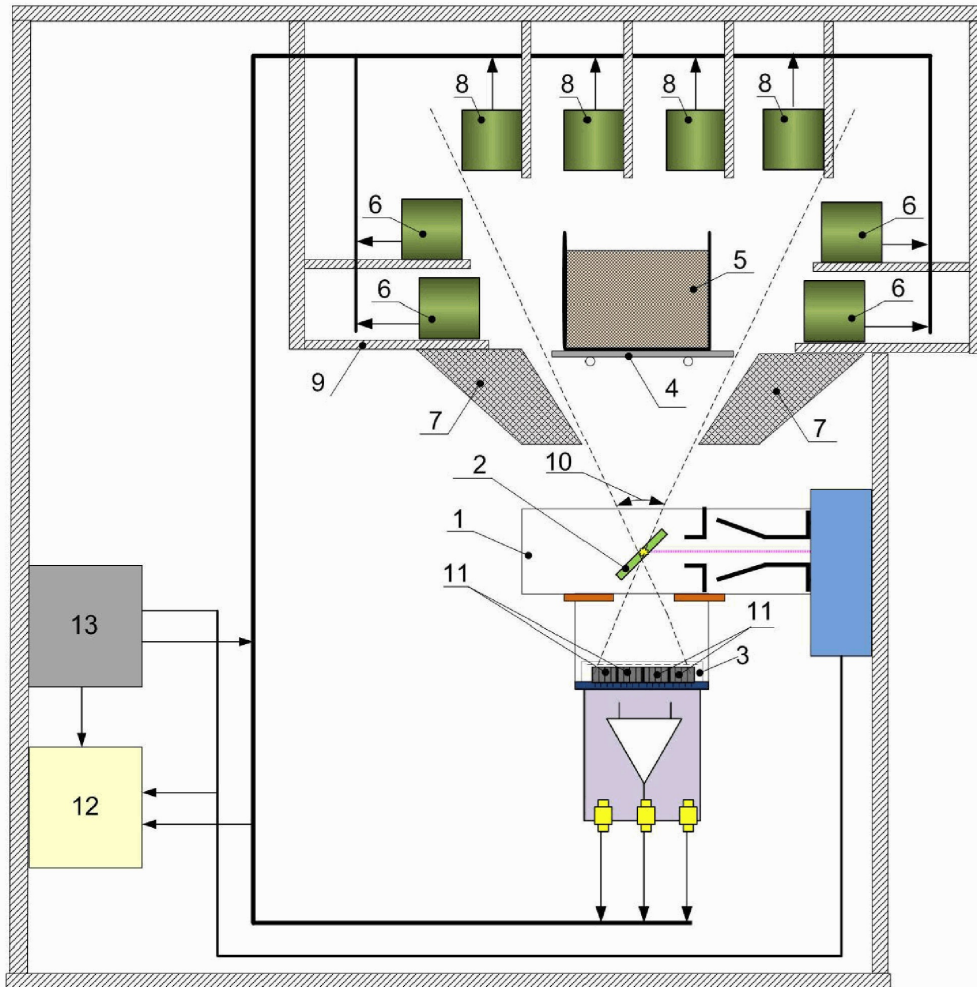
30

35

40

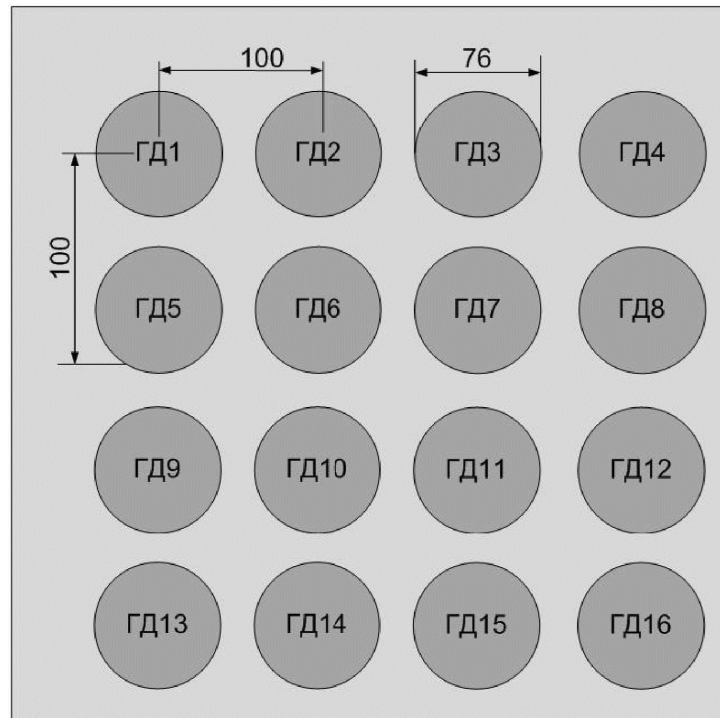
45

1

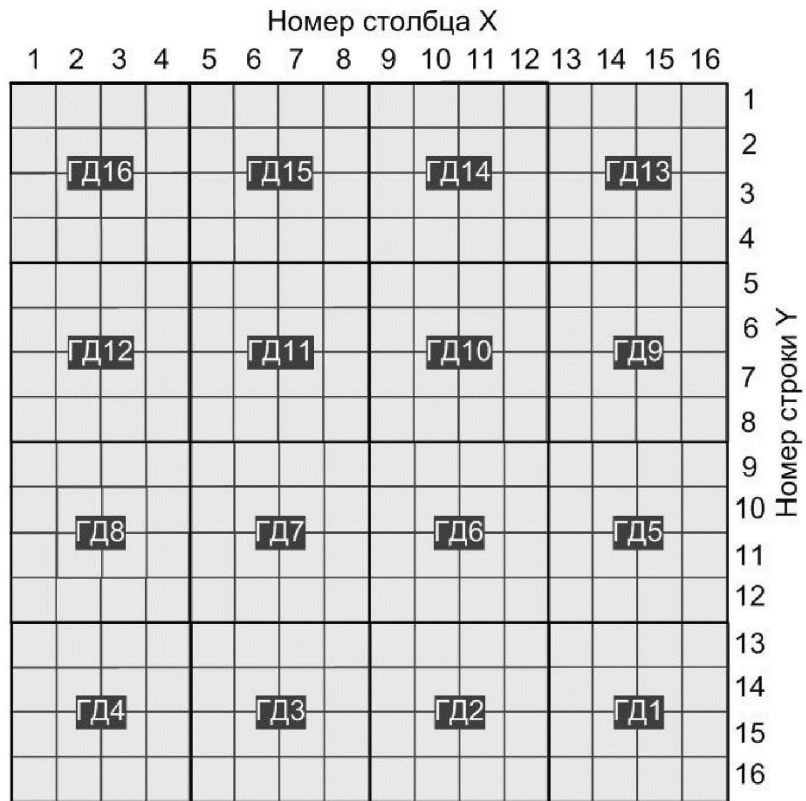


Фиг. 1

2



Фиг. 2



Фиг. 3