



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2003112392/28, 25.04.2003

(24) Дата начала действия патента: 25.04.2003

(43) Дата публикации заявки: 20.10.2004

(45) Опубликовано: 20.03.2005 Бюл. № 8

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2142147 C1, 27.11. 1999. SU 1612764 A1, 23.03.1993. US 5393981 A, 28.02.1995. US 3676360 A, 11.07.1972.

Адрес для переписки:
620002, г.Екатеринбург, К-2, УГТУ-УПИ, центр интеллектуальной собственности, Т.В. Маркс

(72) Автор(ы):

Шульгин Б.В. (RU),
Райков Д.В. (RU),
Иванов В.Ю. (RU),
Черепанов А.Н. (RU),
Коссе А.И. (RU),
Соломонов В.И. (RU),
Королева Т.С. (RU),
Кидибаев М.М. (RU)

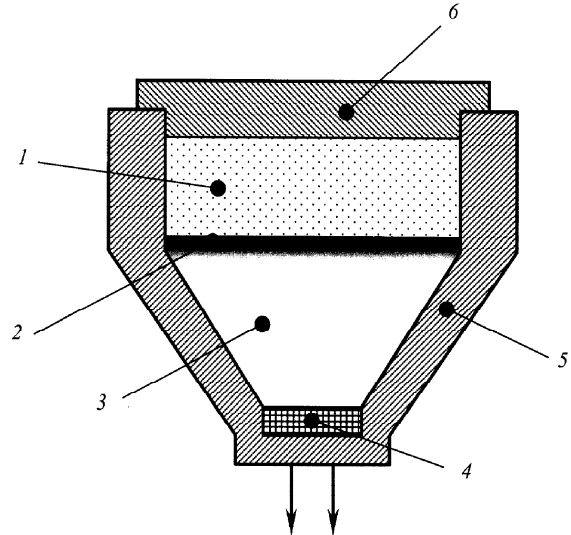
(73) Патентообладатель(ли):

ГОУ ВПО Уральский государственный
технический университет - УПИ (RU),
Институт электрофизики УрО РАН (RU)

(54) СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР

(57) Реферат:

Использование: в системах радиационного мониторинга местностей, таможенного контроля ядерных материалов и др. Сущность: детектор, включающий помимо сцинтиллятора, сместитель спектра и PIN-фотодиод, дополнительно содержит светособирающий световод и корпус-коллиматор, причем сместитель спектра и светособирающий световод выполнены в виде единого блока на основе легированных или чистых кристаллов фторидов лития или натрия. Технический результат - повышение чувствительности. 1 ил., 2 з.п. ф-лы.





FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2003112392/28, 25.04.2003**

(24) Effective date for property rights: **25.04.2003**

(43) Application published: **20.10.2004**

(45) Date of publication: **20.03.2005 Bull. 8**

Mail address:
**620002, g.Ekaterinburg, K-2, UGTU-UPI, tsentr
intellektual'noj sobstvennosti, T.V. Marks**

(72) Inventor(s):
**Shul'gin B.V. (RU),
Rajkov D.V. (RU),
Ivanov V.Ju. (RU),
Cherepanov A.N. (RU),
Kosse A.I. (RU),
Solomonov V.I. (RU),
Koroleva T.S. (RU),
Kidibaev M.M. (RU)**

(73) Proprietor(s):
**GOU VPO Ural'skij gosudarstvennyj tekhnicheskij
universitet - UPI (RU),
Institut ehlektrofiziki UrO RAN (RU)**

(54) **SCINTILLATION DETECTOR**

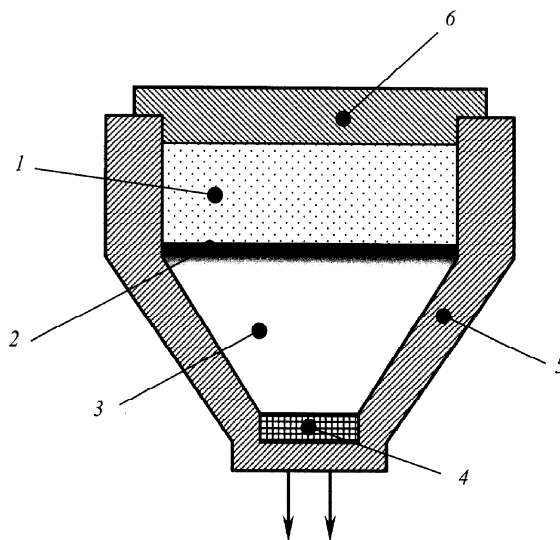
(57) Abstract:

FIELD: radar monitoring of localities, customs inspection of nuclear materials, etc.

SUBSTANCE: in addition to a scintillator, the detector has a spectrum mixer and a PIN-photodiode, it also has a light-collecting light-emitting diode and a body-collimator, the spectrum mixer and the light-collecting light-emitting diode are made as a single unit on the basis of alloyed or pure crystals of lithium or sodium fluorides.

EFFECT: enhanced sensitivity.

3 cl, 1 dwg



Заявляемое устройство относится к детекторам бета-, гамма- и нейтронных излучений и может быть использовано для обнаружения источников нейтронов и радиоактивных веществ в системах индивидуальной дозиметрии и дозиметрии окружающей среды, в системах радиационного мониторинга местностей, морских акваторий, в системах таможенного радиационного контроля ядерных материалов, в системах обнаружения, учета и контроля ядерных материалов на границах страны и в других международных пунктах въезда, а также в любых зонах контроля, оговоренных международными соглашениями.

Известен сцинтилляционный детектор бета- и гамма-излучения [Л.С.Горн, Б.И.Хазанов. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений. Энергоатомиздат, М., 1989, 232 с.], в котором в качестве фотоприемного устройства используют фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), а в качестве сцинтиллятора используют кристалл CsI-Tl. Последний имеет плотность 4,51 г/см³, световыход сцинтилляций до 0,45 относительного такового для NaI-Tl, максимум свечения 565 нм, длительность сцинтимпульса 450 нс. Однако недостатками такого сцинтилляционного детектора являются большие габариты и вес фотоприемного устройства, требуемое для него высоковольтное питание, а также относительно невысокий световыход и большая длительность сцинтилляций.

Известен сцинтилляционный детектор бета- и гамма-излучения [Патент США №3382368], включающий сцинтилляционный кристалл BaF₂ (плотность 4,88 г/см³) и фотоэлектронный умножитель. Детектор имеет малую длительность сцинтилляций (<50 нс). Однако максимум спектра свечения BaF₂ лежит в ультрафиолетовой области спектра, $\lambda=220$ нм, т.е. кристалл BaF₂ в режиме обычной фотодиодной регистрации совершенно неэффективен из-за весьма низкой чувствительности PIN-фотодиодов в области длин волн менее 500 нм. Недостатком известного сцинтилляционного детектора на основе BaF₂ является также то, что используемый в нем в качестве фотоприемника ФЭУ имеет большие размеры и вес и требует высоковольтного питания, что увеличивает габариты, вес и стоимость детектора в целом.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов [Патент США №3382368], включающий замедлитель из полиэтилена или полипропилена, сцинтиллятор ⁶LiI-Eu и ФЭУ. Сцинтиллятор имеет плотность 4,06 г/см³, сцинтилляционную эффективность 0,2-0,3 относительно таковой для NaI-Tl и длину волны люминесценции 460 нм. Однако такой сцинтилляционный детектор не эффективен в устройствах с фотодиодной регистрацией и, кроме того, он имеет очень большую длительность сцинтилляций $\tau=1,4$ мкс, требует высоковольтного питания для ФЭУ, имеет большие габариты и вес фотоприемного устройства.

Известен сцинтилляционный детектор быстрых нейтронов [Патент США №3398278], включающий замедлитель из полиэтилена, сцинтиллятор ZnS-Ag и ФЭУ. Сцинтиллятор имеет световыход, в 2 раза [В.И.Иванов. Курс дозиметрии. Атомиздат, М., 1970, 392 с.] превышающий световыход NaI-Tl, максимум спектра излучения сцинтиллятора расположен при 450 нм. Однако такой детектор имеет большую длительность сцинтилляций ~1-2 мкс, то есть не обеспечивает высокой загрузочной способности, имеет большие габариты и вес фотоприемного устройства.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов [N.J.Rodes, M.W.Jonson. The role of inorganic scintillators in neutron detector technology. Proceedirus of the Int. Conf. on inorganic scintillators and their applications. 1996, Delft, Netherlands, pp.73-80], включающий сцинтиллятор ZnS(Ag)-⁶Li и ФЭУ. Однако такой детектор имеет большую длительность сцинтилляций, $\tau=1-2$ мкс, то есть не обеспечивает высокой загрузочной способности. Кроме того, он имеет большие габариты и соответственно большой вес фотоприемника и требует высоковольтного питания.

Известен сцинтилляционный детектор [Викторов Л.В., Шульгин Б.В. / Неорганические сцинтилляционные материалы / Изв. АН СССР. Неорг. материалы, 1991, т.27, №10,

с.2005-2029; С.Тинг. Установка ЛЗ, ЛЭП (ЦЕРН). Препринт, Ленинград, ЛИЯФ, 1987, 52 с.], включающий сцинтилляционный кристалл $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ и фотодиод, используемый в экспериментах в Европейском ядерном центре (ЦЕРН) на ускорителях коллайдерного типа (ускорители на встречных пучках). Сцинтилляционный детектор имеет максимум свечения в зеленой области спектра 540 нм, что не обеспечивает высокого коэффициента согласования с фотоприемником в области максимальной чувствительности PIN-фотодиода (инфракрасная область 800-1000 нм). Известный детектор имеет низкий световыход на уровне 0,1 относительно такового для NaI-Tl и большую длительность свечения, $\tau=300$ мкс, что не позволяет обеспечить высокую загрузочную способность детектора.

Известны сцинтилляторы на основе легированных или чистых кристаллов LiF и NaF с центрами окраски LiF-Sc, LiF-Sr, LiF-U,Cu, NaF-U,Cu [Райков Д.В., Иванов В.Ю., Шульгин Б.В. и др. / Сцинтилляторы на основе кристаллов LiF и NaF с центрами окраски // Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Межвуз. сб. научн. трудов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2002. Вып.10. С.4-10] с основной полосой свечения в области 600-750 нм (максимум 670 нм) и длительностью сцинтилляций порядка наносекунд. Красная полоса свечения 660-750 нм сцинтилляторов является основной, ее интенсивность в 3-8 раз превышает интенсивность дополнительных сине-зеленых полос свечения в области 440-520 нм. Природа этих полос связана в основном с центрами окраски F_2 -типа (670 нм) и F_3^+ -типа (440-520 нм). Однако применение сцинтилляторов на центрах окраски в легированных или чистых кристаллах LiF и NaF известно только для регистрации импульсных электронных пучков. Возможное применение легированных или чистых кристаллов LiF и NaF в качестве сместителей спектров и световодов нигде не описано.

Известен сцинтилляционный детектор фирмы SCIONIX Holland [Фотодиодные сцинтилляционные детекторы. Photodiode Scintillation Detectors SRD-200. Проспект фирмы SCIONIX Holland, 1992, 2 с.] с фотодиодной регистрацией, пригодный для регистрации рентгеновского (>60 кэВ) и гамма-излучения в промышленных и медицинских целях. Детектор имеет размеры: диаметр 40 мм, высота 50 или 70 мм. Он содержит кристалл CsI-Tl $10 \times 10 \times 10$ мм, максимум спектра люминесценции которого расположен при 565 нм, и кремниевый PIN-фотодиод. Однако известный сцинтилляционный детектор с фотодиодной регистрацией [Фотодиодные сцинтилляционные детекторы. Photodiode Scintillation Detectors SRD-200. Проспект фирмы SCIONIX Holland, 1992, 2 с.] обладает большой длительностью сцинтиимпульса, $\tau=450$ мкс, т.е. невысокой загрузочной способностью, и главное, имеет малые размеры чувствительной поверхности сцинтиллятора, всего 1 см^2 , и малый чувствительный объем сцинтиллятора, равный 1 см^3 , поскольку имеет размеры $10 \times 10 \times 10$ мм, диктуемые размерами приемного окна PIN-фотодиода, что не обеспечивает высокой чувствительности к рентгеновскому и гамма-излучению. Кроме того, детектор с кристаллом CsI-Tl не пригоден для регистрации нейтронов и не обеспечивает осевой направленности измерений: из-за отсутствия коллиматора он регистрирует гамма-кванты, поступающие не только через торцевую рабочую поверхность сцинтилляционного кристалла, но и через боковую и тыльную поверхности кристалла CsI-Tl.

Из всех известных сцинтилляционных детекторов нейтронного и гамма-излучения наиболее близким к заявляемому является устройство [Патент РФ №2142147, 1999] со сцинтилляционным кристаллом, кремниевым PIN-фотодиодом и с расположенным между сцинтилляционным кристаллом и PIN-фотодиодом сместителем спектра в виде сцинтиллирующей пленки (или тонкого сцинтиллирующего кристалла). В известном детекторе [Патент РФ №2142147, 1999] при регистрации гамма-излучения для повышения эффективности регистрации излучения и загрузочной способности в качестве сцинтиллятора используют кристалл $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{-Ce}$, у которого амплитуда сцинтилляций с максимумом спектра 420 нм и длительностью импульса 20 нс (в 200 раз более короткой, чем у CsI-Tl) превышает амплитуду сцинтилляций кристалла CsI-Tl. В качестве сцинтиллятора при регистрации нейтронов в детекторе [Патент РФ №2142147, 1999]

используют кристалл стильбена с $\lambda \sim 390$ нм и длительностью сцинтилляций ~ 2 нс. Для того чтобы сцинтилляции кристалла $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{-Ce}$ или кристалла стильбена с $\lambda = 420$ и 390 нм соответственно могли быть зарегистрированы кремниевым PIN-фотодиодом, чувствительным к световым импульсам с длиной волны в области 500-1100 нм (максимум в области 800-1000 нм [Hamamatsu Technical Data Sheet (10×10 mm² sensitive area PIN silicon photocells S1723, S1790 Series.; Photodiode, Si, pin. "RECOM" LTD. Company Moscow. Реклама фирмы "Реком", Москва, 1994]), они должны быть преобразованы в более длинноволновые сцинтилляции. Такое преобразование выполняет сместитель спектра, не затягивающий при этом длительности сцинтилляционного импульса. Сместителем спектра в детекторе [Патент РФ №2142147, 1999] является сцинтиллирующий органический борсодержащий состав $(\text{C}_5\text{H}_5\text{N})_2\text{B}_{10}\text{H}_{12}$ [Авт. свидетельство СССР №1550925, 1989.; Авт. свидетельство СССР №1351078, 1987] с максимумом спектра свечения в области 520-560 нм и длительностью сцинтиимпульсов 0,62 нс.

Недостатком известного детектора [Патент РФ №2142147, 1999] является то, что сместитель спектра (состав $(\text{C}_5\text{H}_5\text{N})_2\text{B}_{10}\text{H}_{12}$) преобразует синее ($\lambda \sim 420$ или 390 нм (для стильбена)) излучение сцинтиллятора в зелено-желтое ($\lambda \sim 520\text{-}560$ нм), а не в красное-инфракрасное, которое необходимо для обеспечения высокого коэффициента согласования со спектральной чувствительностью PIN-фотодиода, имеющей максимум в области чувствительности 800-1000 нм. По этой причине известный детектор [Патент РФ №2142147, 1999] обладает недостаточно высокой чувствительностью. Недостатком является также то, что размеры чувствительной поверхности сцинтилляционных кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{-Ce}$ или стильбена в устройстве [Патент РФ №2142147, 1999] ограничены размерами PIN-фотодиода 10×10 мм, что не обеспечивает необходимой чувствительности детектора к гамма-излучению и нейтронам при решении задач обнаружения слабых потоков нейтронного и гамма-излучения или при решении задач обнаружения фоновых аномалий или просто при измерениях уровня фона или изменений (временных) уровня фона.

Предлагаемым изобретением решается задача повышения чувствительности сцинтилляционного детектора с фотодиодной регистрацией к гамма-излучению и нейтронам.

Заявляемое устройство, предлагаемое для решения задачи повышения уровня чувствительности сцинтилляционных детекторов с PIN-фотодиодной регистрацией к гамма- и нейтронному излучению, содержащее сцинтилляционный кристалл, сместитель спектра, светособирающий световод и фотоприемное устройство в виде PIN-фотодиода, размещенные в корпусе-коллиматоре, обеспечивает повышение чувствительности к гамма-излучению или нейтронам в несколько раз. Блок-схема заявляемого устройства приведена на чертеже. Устройство содержит сцинтилляционный кристалл 7, находящийся с ним в оптическом контакте сместитель спектра 2 вместе со светособирающим световодом 3, который находится в оптическом контакте с PIN-фотодиодом 4. Все эти элементы детектора помещены в единый корпус 5, играющий роль коллиматора, с крышкой 6.

Сущность изобретения заключается в том, что, благодаря применению светособирающего световода, как в случае регистрации гамма-излучения, так и в случае регистрации нейтронов, размеры сцинтилляционного кристалла 1, в частности, площадь воспринимающей излучение рабочей грани сцинтилляционного кристалла не лимитируется (не ограничена) размерами входного окна PIN-фотодиода. Площадь рабочей грани может быть на порядок больше, что увеличивает чувствительность датчика в несколько раз. Отличительной особенностью предлагаемого изобретения является также наличие совершенно новой конструкции для важнейшего элемента устройства: сместитель спектра и световод выполнены в виде цельного неразделяющегося блока, в виде единой гетероструктуры на базе одного и того же кристалла (например, легированного или чистого кристалла LiF или NaF). Последнее полностью исключает потери света на границе сместитель спектра - светособирающий световод. Роль сместителя спектра играет тонкий слой (20-70 мкм) кристаллов LiF или NaF (легированных или чистых), насыщенный

F₂-центрами, получаемый путем радиационно-лучевой обработки поверхности кристаллов импульсными пучками электронов с энергией до 180 кэВ. Чувствительность детектора повышена также за счет применения коллиматора 5, обеспечивающего осевую направленность измерения, и повышения отношения сигнал/шум за счет отсечки шумового излучения, поступающего в сцинтилляционный кристалл сбоку и с тыла.

Устройство работает в двух возможных функциональных режимах (регистрация гамма-излучения или нейтронов) следующим образом. В случае регистрации гамма-излучения в качестве сцинтилляционного кристалла используют кристалл Lu₂SiO₅-Ce диаметром до 4 см и более (т.е. с площадью рабочей грани ~12,6 см² и более). В кристалле возникают яркие быстрые световые вспышки (сцинтилляции) с длительностью 20 нс. Их спектр свечения расположен в синей области с максимумом при 420 нм. Далее сместитель спектра в виде тонкого сцинтиллирующего слоя F₂-центров окраски (получаемого методом радиационно-лучевой обработки поверхности) и световод, изготовленные в виде единого блока на одной и той же базе легированных или чистых кристаллов LiF и NaF преобразуют коротковолновое синее λ₁-излучение в длинноволновое красное λ₂-излучение (где λ₁=420 нм, а λ₂=670 нм) и направляют красное излучение на чувствительный к этому излучению PIN-фотодиод, который работает либо в счетном, либо в спектрометрическом режимах и дает информацию либо о мощности дозы либо о спектре гамма-излучения. Коэффициент согласования спектральной чувствительности PIN-фотодиода при регистрации излучения с λ=670 нм в 2-3 раза превышает таковой для прототипа [10] и аналога [9], в которых фотодиодом регистрировалось излучение с λ=520-565 нм.

В случае режима регистрации нейтронов в качестве сцинтиллирующего кристалла используют кристалл стильбена, обладающий синим свечением. Сместитель спектра преобразует синее свечение стильбена (λ₁=390 нм) в красное свечение приповерхностных слоев F₂-центров окраски (λ₂=670 нм) легированных или чистых кристаллов (Li, Na)F, которое через светособирающий световод фиксируется PIN-фотодиодом.

Повышенное отношение сигнал/шум и соответственно повышенная чувствительность детектора обеспечивается дополнительно с помощью корпуса детектора, играющего одновременно роль коллиматора как в случае регистрации нейтронного, так и в случае регистрации гамма-излучения. Корпус коллиматора состоит из слоев водородсодержащих материалов для коллимации нейтронов и материалов с высоким эффективным атомным номером (свинец, сталь) для обеспечения коллимации гамма-квантов.

Дополнительным преимуществом предлагаемого сцинтилляционного детектора с фотодиодной регистрацией является повышенная радиационная стойкость сместителя спектра: облучение легированных и нелегированных кристаллов (Li, Na)F гамма-излучением до доз 10⁴-10⁵ Зв и выше повышает концентрацию F₂-центров свечения и соответственно повышает эффективность сместителя спектра на основе кристаллов LiF, NaF, LiF-Sc, LiF-Sr, LiF-U, Cu,NaF-U,Cu.

Формула изобретения

1. Сцинтилляционный детектор, включающий сцинтиллятор, сместитель спектра и PIN-фотодиод, отличающийся тем, что дополнительно содержит светособирающий световод и корпус-коллиматор, причем сместитель спектра и светособирающий световод выполнены в виде единого блока на основе легированных или чистых кристаллов фторидов лития или натрия.

2. Сцинтилляционный детектор по п.1, отличающийся тем, что в качестве сместителя спектра используют приповерхностные слои легированных или чистых кристаллов фторидов лития или натрия, насыщенные F₂-центрами свечения с помощью радиационно-лучевой обработки поверхности кристаллов, а оставшуюся часть легированных кристаллов фторидов лития или натрия используют в качестве светособирающего световода.

3. Сцинтилляционный детектор по п.1, отличающийся тем, что его корпус-коллиматор обеспечивает коллимацию как нейтронного, так и гамма-излучения.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50