РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 389 835** (13) **C2**

(51) МПК
C30B 29/28 (2006.01)
C30B 29/22 (2006.01)
C30B 29/34 (2006.01)
C30B 29/12 (2006.01)
C09K 11/00 (2006.01)
G01T 1/202 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2007121448/15, 07.11.2005**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.11.2005

(30) Конвенционный приоритет:
08.11.2004 JP 2004-324353
01.02.2005 JP 2005-025616

(43) Дата публикации заявки: **20.12.2008**

(45) Опубликовано: **20.05.2010** Бюл. № **14**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **JP 2625000 B2, 25.06.1997. RU 2157552 C2, 10.10.2000. JP 6100360 A, 12.04.1994. US 2004084655 A1, 06.05.2004. US 2004200964 A1, 14.10.2004.**

(85) Дата перевода заявки PCT на национальную фазу: **08.06.2007**

(86) Заявка PCT:
JP 2005/020386 (07.11.2005)

(87) Публикация PCT:
WO 2006/049284 (11.05.2006)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3, ООО "Юридическая фирма Городисский и Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову

(72) Автор(ы):
ЙОСИКАВА Акира (JP),
ОГИНО Хираку (JP),
КАМАДА Кей (JP),
АОКИ Кендзи (JP),
ФУКУДА Цугуо (JP)

(73) Патентообладатель(и):
ТОХОКУ ТЕКНО АРЧ КО., ЛТД. (JP),
ФУРУКАВА КО., ЛТД. (JP)

RU 2389835 C2

(54) Pr-СОДЕРЖАЩИЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ МОНОКРИСТАЛЛ, СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ, ДЕТЕКТОР ИЗЛУЧЕНИЯ И УСТРОЙСТВО ОБСЛЕДОВАНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к оксидным сцинтилляционным монокристаллам, предназначенным для приборов рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) и обследования просвечиванием излучением. Предложены Pr-содержащий монокристалл на основе фторидов, в частности Pr-содержащий монокристалл оксида типа граната, Pr-содержащий монокристалл оксида типа перовскита и Pr-содержащий монокристалл типа силикат-оксида, а также Pr-содержащий монокристалл редкоземельного оксида. Указанные сцинтилляционные монокристаллы обладают высокой плотностью, большим уровнем световой эмиссии, коротким временем жизни и низкой стоимостью получения. 14 н. и 25 з.п. ф-лы, 43 ил.

RU 2389835 C2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(19) **RU** (11) **2 389 835** (13) **C2**

(51) Int. Cl.
C30B 29/28 (2006.01)
C30B 29/22 (2006.01)
C30B 29/34 (2006.01)
C30B 29/12 (2006.01)
C09K 11/00 (2006.01)
G01T 1/202 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2007121448/15, 07.11.2005**

(24) Effective date for property rights:
07.11.2005

(30) Priority:
08.11.2004 JP 2004-324353
01.02.2005 JP 2005-025616

(43) Application published: **20.12.2008**

(45) Date of publication: **20.05.2010 Bull. 14**

(85) Commencement of national phase: **08.06.2007**

(86) PCT application:
JP 2005/020386 (07.11.2005)

(87) PCT publication:
WO 2006/049284 (11.05.2006)

Mail address:
129090, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3, OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery", pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu

(72) Inventor(s):
JOSIKAVA Akira (JP),
OGINO Khiraku (JP),
KAMADA Kej (JP),
AOKI Kendzi (JP),
FUKUDA Tsuguo (JP)

(73) Proprietor(s):
TOKhOKU TEKNO ARCh KO., LTD. (JP),
FURUKAVA KO., LTD. (JP)

RU 2389835 C2

(54) Pr-CONTAINING SCINTILLATION MONOCRYSTAL, METHOD OF MAKING SAID CRYSTAL, RADIATION DETECTOR AND INSPECTION DEVICE

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: oxide scintillation monocrystals are designed for devices for X-ray computed tomography inspection through illumination with radiation. A Pr-containing monocrystal based on fluorides, specifically a Pr-containing oxide monocrystal of the garnet type, a Pr-containing oxide monocrystal of the perovskite type and a Pr-containing monocrystal of the silicate oxide type, as well as a Pr-containing rare-earth metal oxide monocrystal are proposed.

EFFECT: scintillation monocrystals have high density, high level of optical emission, short mean life and low cost of production.

39 cl, 18 ex, 43 dwg

RU 2389835 C2

Область техники

[0001] Настоящее изобретение относится к празеодим(Pr)-содержащему сцинтилляционному монокристаллу, способу его получения, а также детектору излучения и устройству обследования с использованием такого сцинтилляционного монокристалла.

Уровень техники

[0002] В устройстве позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) сцинтилляционные детекторы, характеризующиеся высокой чувствительностью и быстродействием, находят применение благодаря их способности к подсчету совпадений гамма-луча (аннигилированного гамма-луча: 511 кэВ) с относительно большими энергиями. Требуемые в данном случае характеристики детектора включают в себя высокое разрешение по времени для того, чтобы гарантировать высокую скорость подсчета и отсечение случайного шума, а также включают в себя великолепное разрешение по энергии для того, чтобы гарантировать отсечение рассеянного луча, исходящего изнутри тела.

[0003] В связи с этим требования к сцинтиллятору, подходящему для детекторов, удовлетворяющих этим техническим требованиям, включают в себя высокую плотность и высокое атомное число (большая величина коэффициента фотоэлектрического поглощения) с точки зрения эффективности обнаружения, высокий уровень энергии эмиссии с точки зрения потребностей в быстром отклике (быстродействии) и высоком разрешении по энергии и короткое время жизни флюоресценции (время затухания флюоресценции). В современных системах используется компактное размещение большого числа небольших, тонких и удлиненных сцинтилляторов с целью достижения многослойной конфигурации и более высокого разрешения, так что важными вопросами, которые следует рассмотреть при выборе сцинтилляторов, также стало их удобство в обращении, пригодность к обработке и их стоимость.

[0004] Tl:NaI обычно наиболее часто использовался в качестве сцинтилляционного детектора благодаря его большой энергии эмиссии и относительно низкой стоимости, но он не имел перспектив, связанных с улучшением чувствительности детектора, из-за своей низкой плотности, неудобства в обращении вследствие поглощения им влаги из воздуха, и поэтому он был заменен на $B_{i4}Ge_3O_{12}$ (BGO).

[0005] BGO характеризуется длиной волны 490 нм, показателем преломления 2,15 и плотностью 7,13 г/см^3, в два раза большей, чем плотность Tl:NaI, и, следовательно, демонстрирует большой коэффициент поглощения энергии излучения. В отличие от гигроскопичного Tl:NaI BGO не обладает какой-либо гигроскопичностью и имеет преимущество хорошей обрабатываемости. Недостатки обусловлены тем, что BGO имеет коэффициент преобразования флюоресценции, равный всего лишь 8% от этого коэффициента у Tl:NaI, так что светоотдача при отклике на гамма-луч является меньшей, чем у Tl:NaI, а также тем, что BGO демонстрирует разрешение по энергии при отклике на гамма-луч мощностью 1 МэВ, равное 15%, в отличие от 7%, демонстрируемых Tl:NaI. Еще один недостаток заключается в том, что время затухания флюоресценции является очень большим и составляет 300 нсек или около того.

[0006] Разработанный в Японии $Ce:Gd_2SiO_5$(Ce:GSO) несколько уступает BGO по чувствительности обнаружения, но в целом считается хорошо сбалансированным, высокоэффективным сцинтиллятором, отличающимся своей плотностью (6,71 г/см^3), энергией световой эмиссии (удвоенной по сравнению с BGO), временем отклика (30-60

нсек) и устойчивостью к действию радиоактивного луча (>10^5 Гр). Однако проблемы в этом случае заключаются в более медленном времени подъема, положительном гистерезисе (от англ. positive-hysteresis) по отношению к радиоактивному лучу (свойство увеличения энергии света при облучении) и сильной склонности к разрушению по плоскости спайности.

[0007] Сцинтилляционным кристаллом, предположительно представляющим собой современный уровень техники, является допированный церием (Ce) Lu_2SiO_5(Ce:LSO), характеризующийся превосходными сцинтилляционными характеристиками, включая высокую плотность (приблизительно 7,39 г/$см^3$), короткое время жизни (приблизительно 50 нсек) и большую энергию эмиссии (в три или более раза большую, чем у BGO). LSO кристалл может быть получен способом Чохральского и поэтому имеет рынок в несколько десятков миллиардов долларов, на котором главным образом представлены компании США, такие как CTI Molecular Imaging Inc. (CTI), Crystal Photonics Inc. (CPI) и т.д. С другой стороны, проблемы в данном случае заключаются в высоких затратах на получение и обработку из-за его сравнительно высокой точки плавления, составляющей 2150°C, и большой анизотропии коэффициента линейного расширения и в низком выходе продукта. Рост монокристалла оксида с высокой точкой плавления из его собственного расплава обычно проводят, используя в качестве материала тигля металл, называемый иридием (Ir), при этом температуры, превышающие 2000°C, являются близкими к температуре размягчения Ir, так что при получении кристалла LSO необходим тщательный контроль температуры. Более того, срок службы Ir-го тигля является коротким, и огромные затраты на повторное литье такого тигля ложатся тяжелым бременем на изготовителей. Кроме того, необходима большая мощность высокочастотного генератора для достижения столь высокой и даже сверхвысокой температуры, а это также увеличивает текущие расходы в целом.

[0008] С другой стороны, Ce:GSO и Ce:LSO, используемые в качестве светоизлучаюших материалов сцинтиллятора, обладают значительными величинами энергии эмиссии благодаря большому количеству Ce, т.е. содержащегося в них светоизлучающего элемента, однако его содержание, превышающее несколько процентов, может привести к отчетливому концентрационному тушению, и сцинтилляционный эффект будет отсутствовать.

[0009] Кроме того, Ce является вторым после La наибольшим среди ионов редкоземельных элементов и является значительно большим, чем типичные представители ионов редкоземельных элементов (Y, Gd, Lu) в кристаллической структуре-хозяине, в результате чего эффективный коэффициент сегрегации сильно отклоняется от 1. Это означает, что в направлении роста неизбежными являются композиционные флуктуации. Такое явление является причиной варьирующихся физических свойств, таких как энергия эмиссии и т.д., и вызывает серьезную проблему в случае, когда назначением является применение при ПЭТ высокопрецизионного типа.

[0010] В этой ситуации ожидания в настоящее время направлены на разработку сцинтиллятора следующего поколения, выгодного не только по стоимости, но также и обладающего более высоким коэффициентом поглощения энергии и более высокими разрешением по энергии и разрешением по времени, то есть способного увеличить число выборок в единицу времени (патентный документ 1).

[0011] С другой стороны, не только ПЭТ, но также и рентгеновская компьютерная томография (РКТ) имеет большое значение в устройствах обработки медицинских

изображений. Принимая во внимание весь диапазон неразрушающего обследования (неразрушающего контроля), а также РКТ, сцинтилляционные кристаллы для обследования просвечиванием радиоактивными лучами имеют важное значение. Желательно, чтобы сцинтилляционные кристаллы, предназначенные для этих целей, имели большую энергию эмиссии, такую как у Tl:NaI и CsI, но и имели короткое время жизни флюоресценции, такое как у Ce:GSO и Ce:LSO.

[0012] Из этих соображений следует, что современные потребности направлены на разработку сцинтиллятора следующего поколения, характеризующегося низкой стоимостью, высоким коэффициентом поглощения энергии и большой энергией эмиссии.

[Патентный документ 1] Выложенная публикация патента Японии №2001-72968.

Раскрытие изобретения

[0013] Настоящее изобретение задумано для решения вышеописанных проблем, причем его задачи состоят в достижении характеристик, превосходящих характеристики BGO, характеристик, эквивалентных или превосходящих характеристики GSO, включая высокую плотность (6,71 кг/см^3 или выше), большую энергию эмиссии, не меньшую, чем энергия эмиссии NaI (в пять или более раз большую, чем у BGO), короткое время жизни (60 нсек или менее), высокую энергию эмиссии (в два или более раза большую, чем у BGO) и низкую стоимость получения. Еще одна задача заключается в том, чтобы получить такой превосходный сцинтилляционный материал, используя оксидный материал, который можно более легко вырастить по сравнению с GSO и LSO, или используя фторидный материал, имеющий более низкую точку плавления, чем у оксидного материала.

[0014] В ходе многочисленных исследований, нацеленных на решение вышеописанных задач, авторы настоящего изобретения подтвердили наличие световой эмиссии, предположительно приписываемой переходу 5d-4f в Pr(III) в некоторых Pr-содержащих монокристаллах. Было установлено, что эти монокристаллы достигали большого коэффициента абсолютного светового выхода, большой энергии световой эмиссии (свечения) и короткого времени жизни флюоресценции (времени затухания), и это привело авторов к созданию настоящего изобретения.

[0015] Согласно настоящему изобретению предложен сцинтилляционный монокристалл, выраженный как $(PrRE)_aM_b(O_pF_{1-p})_c$;

(где RE обозначает любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb, Lu и La;

M представляет собой любое одно или более веществ, выбранных из Al, Ga, Si, Li, Na, K, Cs, Rb, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Zr и Hf; и

$0<a<10$, $0<b<10$ и $0<c<50$, и p равно 0 или 1).

Согласно настоящему изобретению предложен также сцинтилляционный монокристалл, выраженный как $(PrRE)_aM_b(O_pF_{1-p})_c$:

(где RE обозначает любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb, Lu, La и Ce;

M представляет собой любое одно или более веществ, выбранных из Al, Ga, Si, Li, Na, K, Cs, Rb, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Zr и Hf; и

$0<a<10$, $0<b<10$ и $0<c<50$, и p равно 0).

[0016] Такой сцинтилляционный монокристалл может эмитировать флюоресценцию, имеющую длину волны от 200 до 350 нм, при возбуждении гамма-лучом.

[0017] Поскольку сцинтилляционный монокристалл по настоящему изобретению имеет время затухания флюоресценции 300 нсек или более короткое (обладая эмиссионным пиком примерно при 300 нм), для измерения флюоресценции будет достаточно лишь короткого времени выборки, а следовательно, можно ожидать большего разрешения по времени или сокращения интервалов между выборками. Реализация большего разрешения по времени поможет увеличить число выборок в единицу времени. Сцинтилляционный монокристалл, имеющий такое короткое время жизни флюоресценции, предполагается главным образом использовать в качестве сцинтиллятора, применяемого для быстродействующего детектирования радиоактивного луча при ПЭТ и ОФЭКТ.

[0018] Согласно настоящему изобретению были найдены сцинтилляционные кристаллы на основе оксидов, имеющие характеристики, превосходящие характеристики BGO и эквивалентные характеристикам GSO или превосходящие их. Также было установлено, что эти кристаллы имеют характеристики, превосходящие характеристики NaI. Эти кристаллы обладают меньшей анизотропией коэффициента линейного расширения по сравнению с GSO и LSO, и они могут быть легко выращены в виде монокристаллов.

[0019] Согласно настоящему изобретению были найдены также сцинтилляционные кристаллы на основе фторидов, имеющие характеристики, превосходящие характеристики BGO и эквивалентные характеристикам GSO или превосходящие их. При получении этих кристаллов ожидается уменьшение потребления электроэнергии и охлаждающей воды из-за их низких точек плавления (приблизительно 1350°C). Они позволяют использовать Pt и Ir в качестве материалов тигля, а также позволяют использовать менее дорогостоящий углеродный тигель, а это способствует снижению затрат на производство.

Краткое описание чертежей

[0020] Вышеупомянутые и другие задачи, преимущества и признаки настоящего изобретения будут более очевидны из описанных ниже предпочтительных вариантов воплощения и сопровождающих чертежей.

[0021] На фиг.1 показан монокристалл $(Pr_{0,001}Y_{0,999})_3Al_5O_{12}$ (Pr0,1%:YAG) согласно варианту воплощения настоящего изобретения;

на фиг.2 - монокристалл $(Pr_{0,002}Y_{0,998})_3Al_5O_{12}$ (Pr0,2%:YAG) согласно варианту воплощения настоящего изобретения;

на фиг.3 - монокристалл $(Pr_{0,001}Lu_{0,999})_3Al_5O_{12}$ (Pr0,1%:LuAG) согласно варианту воплощения настоящего изобретения;

на фиг.4 - монокристалл $(Pr_{0,002}Lu_{0,998})_3Al_5O_{12}$ (Pr0,2%:LuAG) согласно варианту воплощения настоящего изобретения;

на фиг.5 - монокристалл $(Pr_{0,002}Y_{0,998})_3Al_5O_{12}$ (Pr0,2%:YAG) согласно варианту воплощения настоящего изобретения;

на фиг.6 - монокристалл $(Pr_{0,002}Lu_{0,998})_3Al_5O_{12}$ (Pr0,2%:LuAG} согласно варианту воплощения настоящего изобретения;

на фиг.7 - монокристалл $(Pr_{0,002}Y_{0,998})_2SiO_5$ (Pr0,2%:YSO) согласно варианту воплощения настоящего изобретения;

на фиг.8 приведен график, показывающий кривые с результатами по исследованию эмиссионных характеристик Pr0,1%:YAG, Pr0,2%:YAG и BGO, измеренных при радиолюминесценции, причем эмиссионный пик BGO приведен для сравнения с 10-кратным увеличением;

на фиг.9 приведен график, показывающий кривые с результатами по исследованию

эмиссионных характеристик Pr0,1%:LuAG, Pr0,2%:LuAG и BGO, измеренных при радиолюминесценции, причем эмиссионный пик BGO приведен для сравнения с 10-кратным увеличением;

На фиг.10 приведен график, показывающий кривые с результатами по исследованию эмиссионных характеристик Pr0,2%:YSO и BGO, измеренных при радиолюминесценции, причем эмиссионный пик BGO приведен для сравнения с 10-кратным увеличением;

на фиг.11 приведен график, показывающий кривую времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr0,2%:YAG. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 11,5 нсек;

на фиг.12 приведен график, показывающий кривую времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr0,2%:LuAG. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 17 нсек;

на фиг.13 приведен график, показывающий кривую времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr0,2%:YSO. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 11,5 нсек;

[0022] на фиг.14 - монокристалл $(Pr_{0,002}Y_{0,998})_3(Sc_{0,01}Al_{0,99})_5O_{12}$ (Pr0,2%, Sc1%:YAG), полученный способом микровытягивания вниз согласно примеру настоящего изобретения;

на фиг.15 - монокристалл $(Pr_{0,002}Lu_{0,998})_3(Sc_{0,01}Al_{0,99})_5O_{12}$ (Pr0,2%, Sc1%:LuAG), полученный способом микровытягивания вниз согласно примеру настоящего изобретения;

на фиг.16 - монокристалл $(Pr_{0,002}Lu_{0,998})_3(Mg_{0,05}Al_{0,90}Hf_{0,05})_5O_{12}$ (Pr0,2%, Mg5%, Hf5%:LuAG), полученный способом микровытягивания вниз согласно примеру настоящего изобретения;

на фиг.17 - монокристалл $(PrY)_2O_3$ (Pr1%-по загрузке:Y_2O_3) согласно одному примеру настоящего изобретения;

на фиг.18 - монокристалл $(PrY)AlO_3$ (Pr1%-по загрузке:YAP) согласно одному примеру настоящего изобретения;

на фиг.19 - монокристалл $(PrLu)VO_4$ (Pr1%-по загрузке:$LuVO_4$) согласно одному примеру настоящего изобретения;

на фиг.20 - монокристалл $(Pr_{0,002}La_{0,998})LuO_3$ (Pr0,2%:$LaLuO_3$) согласно одному примеру настоящего изобретения;

на фиг.21 - монокристалл $(Pr_{0,002}Lu_{0,998})_2Si_2O_7$ (Pr0,2%:$Lu_2Si_2O_7$) согласно одному примеру настоящего изобретения;

на фиг.22 приведен график, показывающий кривые радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα) Pr0,2%, Sc1%:YAG; Pr0,2%, Sc1%:LuAG; Pr0,2%, Mg5%, Hf5%:LuAG и BGO;

на фиг.23 приведен график, показывающий кривую радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα) Pr1%(по загрузке):Y_2O_3;

на фиг.24 приведен график, показывающий кривую радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα) Pr1%(по загрузке):YAP;

на фиг.25 приведен график, показывающий кривую радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα) Pr1%(по загрузке): YVO_4;

на фиг.26 приведен график, показывающий кривую радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα) Pr0,2%:$LaLuO_3$;

на фиг.27 приведен график, показывающий кривую радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα) Pr0,2%:$Lu_2Si_2O_7$;

на фиг.28 приведены результаты по энергии эмиссии в Pr0,2%:YAG, Pr0,2%:LuAG и BGO, вызванной возбуждением γ-лучом. Для Pr0,2%: YAG наблюдалась энергия эмиссии, в два раза большая, чем у BGO, а для Pr0,2%:LuAG - в три раза большая, чем у BGO;

на фиг.29 приведен график, показывающий результаты измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr0,2%, Sc1%:YAG. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 12,6 нсек;

на фиг.30 приведен график, показывающий результаты измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr0,2%, Sc1%:LuAG. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 21,3 нсек;

на фиг.31 приведен график, показывающий результаты измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr0,2%, Mg5%, Hf5%:LuAG. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 21,7 нсек;

на фиг.32 приведен график, показывающий результаты измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr1%(по загрузке):Y_2O_3. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 21,5 нсек;

на фиг.33 приведен график, показывающий результаты измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr1%(по загрузке):YAP. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 11,2 нсек;

на фиг.34 приведен график, показывающий результаты измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr1%(по загрузке):YVO_4. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 22,0 нсек;

на фиг.35 приведен график, показывающий результаты измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr0,2%:$LaLuO_3$. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 6,7 нсек;

на фиг.36 приведен график, показывающий результаты измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr0,2%:$Lu_2Si_2O_7$. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 26,1 нсек;

[0023] на фиг.37 приведена примерная фотография кристалла $Pr_wM_xRE_yF_z$ (M=K, RE=Y), полученного способом микровытягивания вниз согласно настоящему изобретению;

на фиг.38 приведена типичная фотография кристалла $Pr_wM_xRE_yF_z$ (M=K, RE=Y и Lu) кристалла, полученного способом микровытягивания вниз согласно настоящему изобретению;

на фиг.39 приведен график, показывающий кривую с результатами исследования характеристик световой эмиссии $K(PrY)_3F_{10}$ (Pr1%-по загрузке:KYF), измеренных при радиолюминесценции. Сравнение с фиг.40 показало, что вершина пика указывает на энергию эмиссии, в 3,5 раза превышающую энергию эмиссии BGO;

на фиг.40 приведен график, показывающий кривую с результатами исследования характеристик световой эмиссии BGO, измеренных при радиолюминесценции.

на фиг.41 приведен график, показывающий кривую с результатами по времени

затухания флюоресценции кристалла $K(PrY)_3F_{10}$ (Pr1%-по загрузке:KYF) при 240 нм, измеренными при фотолюминесценции. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 20 нсек.

на фиг.42 приведен график, показывающий кривую световой эмиссии монокристалла обычного гадолиний-галлиевого оксида типа граната, и

на фиг.43 приведена блок-схема, показывающая примерную конфигурацию устройства ПЭТ согласно варианту воплощения.

Лучшие варианты осуществления изобретения

[0024] Ниже будут пояснены варианты воплощения настоящего изобретения. Сцинтилляционный монокристалл согласно вариантам воплощения настоящего изобретения является сцинтилляционным монокристаллом, выраженным общей формулой $(PrRE)_aM_b(O_pF_{1-p})_c$; (где RE представляет собой любое одно или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb, Lu и La; M представляет собой любое одно вещество или более веществ, выбранных из Al, Ga, Si, Li, Na, K, Cs, Rb, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Zr, Hf, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pd, Cd и Pb; причем $0<a<10$, $0<b<10$ и $0<c<50$ и p равно 0 или 1). Сцинтилляционный монокристалл согласно другим вариантам воплощения настоящего изобретения является сцинтилляционным монокристаллом, выраженным общей формулой $(PrPE)_aM_b(O_pF_{1-p})_c$: (где RE представляет собой любое одно или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb, Lu, La и Ce; M представляет собой любое одно вещество или более веществ, выбранных из Al, Ga, Si, Li, Na, K, Cs, Rb, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Zr, Hf, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pd, Cd и Pb; причем $0<a<10$, $0<b<10$ и $0<c<50$ и p равно 0).

[0025] Этим вариантом воплощения предполагается использование световой эмиссии, приписываемой переходу 5d-4f в Pr за счет Pr-содержащего сцинтилляционного монокристалла и обеспечивается возможность значительно улучшить коэффициент абсолютного светового выхода до величины, превосходящей 8200 фотонов/МэВ у BGO.

[0026] Сцинтилляционный монокристалл, способный эмитировать флюоресценцию в области от 200 до 350 нм, более предпочтительно - от 200 до 310 нм при возбуждении гамма-лучом, может предпочтительно быть использован по назначению высокочувствительного детектирования радиоактивного излучения.

[0027] Эта разновидность сцинтилляционного монокристалла может быть продемонстрирована на примере монокристалла на основе оксидов и монокристалла на основе фторидов.

[0028] Сцинтилляционный монокристалл на основе оксидов согласно данному варианту воплощения характеризуется значением $p=1$ в сцинтилляционном монокристалле, выраженном приведенной выше общей формулой, где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, La, Sc, Yb и Lu, M представляет собой по меньшей мере одно вещество, выбранное из Al и Ga, и (a, b, c) являются любым из (3, 5, 12), (1, 1, 3) и (2, 1, 5).

[0029] Первый вариант такой разновидности сцинтилляционного монокристалла на основе оксидов относится к сцинтилляционному монокристаллу, состоящему из оксида типа граната, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})_3(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}$, где RE представляет собой любое одно или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001\leq x<0,02$, предпочтительно - $0,001\leq x<0,02$, более предпочтительно $0,002\leq x<0,02$, а наиболее предпочтительно - $0,002\leq x<0,003$. Значение y концентрации Ga лежит в диапазоне $0\leq y\leq 1$, предпочтительно - $0\leq y\leq 0,25$ или $0,75\leq y\leq 1$, а более предпочтительно $y=0$ или 1.

[0030] Эта разновидность сцинтилляционного монокристалла, состоящего из оксида типа граната, более конкретно проиллюстрирована в качестве примера сцинтилляционным монокристаллом, состоящим из оксида типа граната, выраженного как $(Pr_xY_{1-x})_3Al_5O_{12}$ или $(Pr_xLu_{1-x})_3Al_5O_{12}$ (где значение x концентрации Pr лежит в указанном выше диапазоне), сцинтилляционным монокристаллом, состоящим из оксида типа граната, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})_3Ga_5O_{12}$ (где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, значение x концентрации Pr лежит в указанном выше диапазоне) и так далее.

[0031] Второй вариант этой разновидности сцинтилляционного монокристалла на основе оксидов относится к сцинтилляционному монокристаллу, состоящему из оксида типа перовскита, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})AlO_3$, где RE представляет собой любое одно или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \le x < 0,3$, предпочтительно - $0,001 \le x < 0,05$, а более предпочтительно - $0,002 \le x \le 0,02$.

[0032] Эта разновидность сцинтилляционного монокристалла, состоящего из оксида типа перовскита, более конкретно проиллюстрирована в качестве примера сцинтилляционным монокристаллом, состоящим из оксида типа перовскита, выраженного как $(Pr_xY_{1-x})AlO_3$, $(Pr_xLa_{1-x})AlO_3$ или $(Pr_xLu_{1-x})AlO_3$ (где значение x концентрации Pr лежит в указанном выше диапазоне).

[0033] Хотя не охваченные указанной выше общей формулой сцинтилляционного монокристалла, состоящего из оксида типа перовскита, также приемлемы те монокристаллы, в которых Lu замещает позицию атома Al, и их примеры включают в себя $(Pr_xLa_{1-x})LuO_3$.

[0034] Третий вариант этой разновидности сцинтилляционного монокристалла на основе оксидов относится к сцинтилляционному монокристаллу, состоящему из оксида типа силикат-оксида, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})_2SiO_5$, где RE представляет собой любое одно или два или более веществ, выбранных из Y, La, Yb и Lu, значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \le x < 0,3$, предпочтительно - $0,001 \le x < 0,05$, а более предпочтительно $0,002 \le x < 0,02$.

[0035] Эта разновидность сцинтилляционного монокристалла, состоящего из силикат-оксида, более конкретно проиллюстрирована в качестве примера сцинтилляционным монокристаллом, состоящим из силикат-оксида, выраженного как $(Pr_xY_{1-x})_2SiO_5$ или $(Pr_xLu_{1-x})_2SiO_5$, (где значение x концентрации Pr лежит в указанном выше диапазоне).

[0036] Сцинтилляционный монокристалл согласно данному варианту воплощения, состоящий из другого оксида, характеризуется значением p=1 в сцинтилляционном монокристалле, выраженном приведенной выше общей формулой, где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, M представляет собой по меньшей мере одно вещество, выбранное из Al, Ga, Mg, Ca, Sr, Sc, Zr и Hf, и (a, b, c) составляют (3, 5, 12).

[0037] Сцинтилляционный монокристалл, состоящий из данной разновидности оксида, более конкретно проиллюстрирован в качестве примера сцинтилляционным монокристаллом, состоящим из оксида типа граната, выраженного как $(Pr_xY_{1-x})_3(Al_{1-y}Sc_y)_5O_{12}$ или $(Pr_xLu_{1-x})_3(Al_{1-y}Sc_y)_5O_{12}$, где значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \le x < 0,3$, предпочтительно - $0,001 \le x < 0,05$, более предпочтительно - $0,002 \le x \le 0,02$, значение y концентрации Sc лежит в диапазоне $0 \le y \le 0,4$, более предпочтительно - $0 \le y \le 0,01$.

[0038] Дополнительно также может предпочтительно быть использован Сцинтилляционный монокристалл, выраженный как $(Pr_xRE_{1-x})_3(M^1{}_yM^2{}_{1-2y}M^3{}_y)_5O_{12}$, где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, M^1 представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Mg, Ca и Sr, M^2 представляет собой любое одно вещество или два или более веществ-металлов, выбранных из Al, Ga и Sc, M^3 представляет собой одно вещество или два или более веществ, выбранных из Zr и Hf, значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$, предпочтительно - $0,001 \leq x < 0,05$, более предпочтительно - $0,002 \leq x \leq 0,02$, а концентрация y лежит в диапазоне $0 \leq y \leq 0,5$, и более предпочтительно - $0 \leq y \geq 0,1$.

[0039] В качестве сцинтилляционных монокристаллов на основе оксидов также приемлемы описанные ниже сцинтилляционные монокристаллы редкоземельных оксидов.

[0040] В качестве этой разновидности сцинтилляционного монокристалла, состоящего из редкоземельного оксида, приемлем сцинтилляционный монокристалл, состоящий из редкоземельного оксида, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})_2O_3$, где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, La, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$, предпочтительно - $0,001 \leq x < 0,05$, а еще более предпочтительно - $0,002 \leq x \leq 0,02$.

[0041] Эта разновидность сцинтилляционного монокристалла, состоящего из редкоземельного оксида, более конкретно проиллюстрирована в качестве примера сцинтилляционным монокристаллом, состоящим из редкоземельного оксида, выраженного как $(Pr_xY_{1-x})_2O_3$, $(Pr_xSc_{1-x})_2O_3$, $(Pr_xLa_{1-x})_2O_3$ или $(Pr_xLu_{1-x})_2O_3$ (где значение x концентрации Pr лежит в указанном выше диапазоне).

[0042] В качестве сцинтилляционного монокристалла, состоящего из еще одного редкоземельного оксида, приемлем сцинтилляционный монокристалл, состоящий из редкоземельного оксида, выраженного как $Pr_xRE_{1-x}VO_4$, где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$, предпочтительно - $0,001 \leq x < 0,05$, а более предпочтительно - $0,002 \leq x \leq 0,02$.

[0043] В качестве сцинтилляционного монокристалла, состоящего из еще одного редкоземельного оксида, приемлем сцинтилляционный монокристалл, состоящий из редкоземельного оксида, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})RE'O_3$, где RE и RE', отличаясь друг от друга, представляют собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из La, Gd, Y, Sc, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$, предпочтительно - $0,001 \leq x < 0,05$, а более предпочтительно $0,002 \leq x \leq 0,02$.

[0044] В качестве сцинтилляционного монокристалла, состоящего из еще одного редкоземельного оксида, приемлем сцинтилляционный монокристалл, состоящий из редкоземельного оксида, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})_2Si_2O_7$, где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$, более предпочтительно - $0,001 \leq x < 0,05$, а более предпочтительно - $0,002 \leq x \leq 0,02$.

[0045] Сцинтилляционный монокристалл на основе фторидов согласно данному варианту воплощения соответствует случаю p=0 в сцинтилляционном монокристалле, выраженном приведенной выше общей формулой. RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из La, Ce, Yb, Lu и Y, и среди прочих особенно предпочтителен Y, Yb или Lu. M представляет собой любое одно вещество

или два или более веществ, выбранных из Li, Na, K, Cs, Rb, Mg, Ca, Sr, Ba, Al, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pd, Cd, Pb, Zr и Hf.

[0046] Первый вариант такого сцинтилляционного монокристалла на основе фторидов относится к сцинтилляционному монокристаллу, выраженному как $Pr_wM_xRE_yF_z$, где RE представляет собой любое одно или два или более веществ, выбранных из La, Ce, Yb, Lu и Y, и M представляет собой любое одно или более веществ, выбранных из Li, Na, K, Cs, Rb, Mg, Ca, Sr, Ba и Al. Значения w, x и z соответственно удовлетворяют условиям $0{,}0001 \le w < 0{,}3$, $0 < x < 10$, $0 < y < 10$ и $0 < z < 50$.

[0047] Эта разновидность сцинтилляционного монокристалла на основе фторидов может быть проиллюстрирована в качестве примера теми монокристаллами, которые содержат K (атом калия) в качестве M в описанной выше общей формуле сцинтилляционного монокристалла на основе фторида, а более конкретно - сцинтилляционным монокристаллом, выраженным как $K(RE_{1-w}Pr_w)_3F_{10}$ (где RE представляет собой любое одно вещество или два или более твердых растворов, выбранных из La, Ce, Yb, Lu и Y, а $0{,}0001 \le w < 0{,}3$).

[0048] Сцинтилляционный монокристалл на основе фторидов более конкретно может быть проиллюстрирован в качестве примера сцинтилляционным монокристаллом, выраженным как $Ba_x(RE_{1-w}Pr_w)F_z$ (где RE представляет собой любое одно вещество или два или более твердых растворов, выбранных из La, Ce, Yb, Lu и Y, а $0{,}0001 \le w < 0{,}3$).

[0049] В случае этих сцинтилляционных монокристаллов на основе фторидов предпочтительны монокристаллы, в качестве RE содержащие Y или твердый раствор Y и Lu.

[0050] В качестве другого сцинтилляционного монокристалла на основе фторидов более конкретно может быть приведен сцинтилляционный монокристалл, выраженный как $Pr_wM_xP_z$ (где M представляет собой любое одно вещество или более веществ, выбранных из Li, Na, K, Cs, Rb, Mg, Ca, Sr, Ba и Al, а $0{,}0001 \le w < 0{,}3$, $0 < x < 10$, $0 < z < 50$).

[0051] Из описанных выше сцинтилляционных монокристаллов на основе фторидов согласно данному варианту воплощения, выраженных как $Pr_wM_xRE_yF_z$ или $Pr_wM_xF_z$, особенно предпочтительные примеры включают в себя $(Pr_w(Lu,Y)_{1-w})KF_{10}$, $(Pr_w(Gd,Y)_{1-w})KF_{10}$, $(Pr_wRE_{1-w})Ba_xF_z$, $(Pr_wYb_{2-w})BaF_8$ или $Ba_2(Pr_wYb_{1-w})F_7$, а их конкретные примеры включают в себя нижеследующие.

[0052] $K(Y_{0,99}Pr_{0,01})_3F_{10}$, $K(Y_{0,59}Yb_{0,4}Pr_{0,01})_3F_{10}$, $K(Y_{0,59}Gd_{0,4}Pr_{0,01})_3F_{10}$, $K(Y_{0,59}Lu_{0,4}Pr_{0,01})_3F_{10}$, $Ba(Y_{0,97}Pr_{0,03})_2F_8$, $Cs_3(Y_{0,99}Pr_{0,01})F_6$, $Ba(Lu_{0,999}Pr_{0,001})F_8$, $Li(Lu_{0,95}Pr_{0,05})F_4$, $K(Y_{0,89}Ce_{0,10}Pr_{0,01})_3F_{10}$, $K(Y_{0,89}La_{0,10}Pr_{0,01})_3F_{10}$, $(Y_{0,89}Gd_{0,10}Pr_{0,01})_3F_{10}$, $Pr_{0,01}Mg_{0,99}F_{2,01}$, $Pr_{0,03}Ca_{0,97}F_{2,03}$, $Pr_{0,05}Sr_{0,95}F_{2,05}$, $Pr_{0,001}Ba_{0,999}F_{2,001}$, $Pr_{0,01}Mn_{0,99}F_{2,01}$, $Pr_{0,001}LiCaAlF_6$, $Pr_{0,001}LiSrAlF_6$, $Pr_{0,001}NaCaAlF_6$, $Pr_{0,001}BaMgF_4$, $Ba_2(Pr_{0,01}La_{0,99})F_7$, $Ba_2(Pr_{0,01}Ce_{0,99})F_7$, $Ba_2(Pr_{0,01}Gd_{0,99})F_7$, $Ba_2(Pr_{0,01}Yb_{0,99})F_7$, $Ba_2(Pr_{0,01}Lu_{0,99})F_7$, $Ba_2(Pr_{0,01}Y_{0,99})F_7$, $Ba(Pr_{0,01}Yb_{1,99})F_8$, KLu_3F_{10} и т.д.

[0053] Что касается состава сцинтилляционных монокристаллов на основе фторидов согласно данному варианту воплощения, выраженных как $Pr_wM_xRE_yF_z$ или $Pr_wM_xF_z$, то для них достижим коэффициент абсолютного светового выхода от 1000 до 200000 фотонов/МэВ или около того, предпочтительно - от 8000 до 200000 фотонов/МэВ, более предпочтительно - от 80000 до 200000 фотонов/МэВ и в особенности предпочтительно от 8000 до 120000 фотонов/МэВ, а более предпочтительно - от 16000 до 80000 фотонов/МэВ, что характеризует чрезвычайно

высокую энергию световой эмиссии сцинтилляционного кристалла на основе фторидов. Более конкретно, коэффициент абсолютного светового выхода относительно коэффициента абсолютного светового выхода у BGO выражается множителем от 0,125 до 25, предпочтительно - от 1 до 25, а более предпочтительно - от 10 до 25. Указанное отношение предпочтительно выражено множителем от 1 до 15, а более предпочтительно - от 2 до 10 ввиду технического эффекта, когда принимается во внимание корреляция с продлением времени жизни флюоресценции вследствие энергетического перехода.

[0054] В составе сцинтилляционного монокристалла на основе фторидов, выраженном как $Pr_wM_xRE_yF_z$ или $Pr_wM_xF_z$, значение w концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq w < 0,3000$, предпочтительно - $0,0010 \leq w < 0,0500$, а более предпочтительно - $0,0020 \leq w < 0,0200$. Поскольку x, y и z задаются произвольно в зависимости от состава кристалла, то, следовательно, они особо не ограничены, при этом они составляют предпочтительно $0 < x < 10,0000$, а более предпочтительно - $0 < x < 4,0000$, $0 < y < 10,0000$, а более предпочтительно - $0 < y < 4,0000$, и $0 < z < 50,0000$, а более предпочтительно - $0 < z < 20,0000$. Более конкретно, в случае когда M представляет собой K, предпочтительны x=1, y=3 и z=10, то есть предпочтителен состав $K(Pr_wRE_{1-w})_3F_{10}$. Также в этом случае значение w концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq w < 0,3000$, предпочтительно - $0,0010 \leq w < 0,0500$, а более предпочтительно $0,0020 < w \leq 0,0200$, при этом RE представляет собой одно вещество или два или более редкоземельных элементов, выбранных из La, Ce, Gd, Lu, Y и Yb, и среди прочих особенно предпочтительны Y, Gd, Yb или Lu.

[0055] В случае когда M представляет собой Ba, предпочтительны x=2, y=1 и z=7 или же предпочтительны x=1, y=2 и z=8, то есть предпочтительны составы $Ba_2(Pr_wRE_{1-w})F_7$ или $Ba(Pr_wRE_{1-w})_2F_8$. Также в этом случае значение w концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq w \leq 0,3000$, предпочтительно $0,0010 \leq w < 0,0500$, а более предпочтительно - $0,0020 \leq w \leq 0,0200$, при этом RE представляет собой одно вещество или два или более веществ - редкоземельных элементов, выбранных из La, Ce, Gd, Lu, Y и Yb, и среди прочих предпочтительны Y, Gd, Yb или Lu.

[0056] Далее будет описан способ получения сцинтилляционного монокристалла на основе оксидов или фторидов согласно настоящему изобретению. Способ получения согласно данному варианту воплощения характеризуется загрузкой Pr в расплав, имеющий состав, выраженный как $(PrRE)_aM_b(O_pF_{1-p})_c$, в количестве, в 5-15 раз большем, чем целевое содержание Pr, и предоставлением возможности монокристаллу расти способом микровытягивания вниз, используя тигель из молибдена (Mo), или тигель из иридия (Ir), или тигель, состоящий из сплава Ir и рения (Re). В этом случае RE представляет собой любое одно или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb, Lu и La, а M представляет собой любое одно вещество или более веществ, выбранных из Al, Ga, Si, Li, Na, K, Cs, Rb, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Zr, Hf, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pd, Cd и Pb, $0 < a < 10$, $0 < b < 10$ и $0 < c < 50$, а p равно 0 или 1. В другом случае RE представляет собой любое одно или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb, Lu, La и Ce, а M представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Al, Ga, Si, Li, Na, K, Cs, Rb, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Zr, Hf, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pd, Cd и Pb, $0 < a < 10$, $0 < b < 10$ и $0 < c < 50$, и p равно 0.

[0057] Способ получения сцинтилляционного монокристалла представлен в данном описании в качестве способа получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из оксида, когда в составе расплава, выраженном приведенной выше общей формулой, значение p=1.

[0058] Эта разновидность способа получения может быть более конкретно проиллюстрирована в качестве примера способом получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из оксида типа граната, при котором расплав имеет состав, позволяющий получать монокристалл, выраженный как $(Pr_xRE_{1-x})_3(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}$, и имеет концентрацию Pr от 5x до 15x, где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \le x < 0,02$, предпочтительно - $0,001 \le x \le 0,02$, более предпочтительно - $0,002 \le x \le 0,02$, а еще более предпочтительно - $0,002 \le x \le 0,003$. Значение y концентрации Ga лежит в диапазоне $0 \le y \le 1$, предпочтительно - $0 \le y \le 0,25$ или $0,75 \le y \le 1$, а более предпочтительно y=0 или 1.

[0059] В этой разновидности способа получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из оксида типа граната, расплав предпочтительно имеет состав, позволяющий получать монокристалл, выраженный как $(Pr_xY_{1-x})_3Al_5O_{12}$, $(Pr_xLu_{1-x})_3Al_5O_{12}$ или $(Pr_xRE_{1-x})_3Ga_5O_{12}$, и имеет концентрацию Pr от 5x до 15x, где RE представляет собой любое одно или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu. Значение x концентрации Pr лежит в указанном выше диапазоне.

[0060] Эта разновидность способа получения может быть более конкретно проиллюстрирована в качестве примера способом получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из оксида типа перовскита, где расплав имеет состав, позволяющий получать монокристалл, выраженный как $(Pr_xRE_{1-x})AlO_3$, и имеет концентрацию Pr от 5x до 15x. В этом случае RE представляет собой любое одно из или два или более веществ, выбранных из Y, La, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \le x < 0,3$, предпочтительно - $0,001 \le x < 0,05$, а более предпочтительно - $0,002 \le x \le 0,02$.

[0061] В этой разновидности способа получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из оксида типа перовскита, расплав предпочтительно имеет состав, позволяющий получать монокристалл, выраженный как $(Pr_xY_{1-x})AlO_3$, $(Pr_xLa_{1-x})AlO_3$ или $(Pr_xLu_{1-x})AliO_3$, и имеет концентрацию Pr от 5x до 15x. Значение x концентрации Pr лежит в указанном выше диапазоне.

[0062] Эта разновидность способа получения может быть более конкретно проиллюстрирована в качестве примера способом получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из силикат-оксида, где расплав имеет состав, позволяющий получать монокристалл, выраженный как $(Pr_xRE_{1-x})_2SiO_5$, и имеет концентрацию Pr от 5x до 15x. В этом случае RE представляет собой любое одно или два или более веществ, выбранных из Y, La, Yb и Lu. Значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \le x < 0,3$, предпочтительно - $0,001 \le x < 0,05$, а более предпочтительно - $0,002 \le x \le 0,02$.

[0063] В этой разновидности способа получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из силикат-оксида, расплав предпочтительно имеет состав, позволяющий получать монокристалл, выраженный как $(Pr_xY_{1-x})_2SiO_5$ или $(Pr_xLu_{1-x})_2SiO_5$, и имеет концентрацию Pr от 5x до 15x. Значение x концентрации Pr лежит в указанном выше диапазоне.

[0064] Это вариант воплощения также относится к способу получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из редкоземельного оксида, характеризующемуся выращиванием монокристалла из расплава, имеющего состав, позволяющий получать монокристалл, выраженный как $(Pr_xRE_{1-x})_2O_3$, и имеет концентрацию Pr от 5x до 15x, способом микровытягивания вниз с использованием тигля из Re. В этом случае RE представляет собой любое одно вещество или два или

более веществ, выбранных из Y, Sc, La, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$, предпочтительно - $0,001 \leq x < 0,05$, а более предпочтительно - $0,002 \leq x \leq 0,02$.

[0065] В этой разновидности способа получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из редкоземельного оксида, расплав может иметь состав, позволяющий получать монокристалл, выраженный как $(Pr_xY_{1-x})_2O_3$, $(Pr_xSc_{1-x})_2O_3$, $(Pr_xLa_{1-x})_2O_3$ или $(Pr_xLu_{1-x})_2O_3$, и концентрацию Pr от 5x до 15x (где значение x концентрации Pr лежит в указанном выше диапазоне).

[0066] Способ получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из оксида, согласно данному варианту воплощения также включает нижеследующее.

[0067] (1) Способ получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из оксида типа граната, характеризующийся выращиванием монокристалла из расплава, имеющего состав, позволяющий получать монокристалл, выраженный как $(Pr_xY_{1-x})_3(Al_{1-y}Sc_y)_5O_{12}$ или $(Pr_xLu_{1-x})_3(Al_{1-y}Sc_y)_5O_{12}$ и имеющий концентрацию Pr от 5x до 15x, способом микровытягивания вниз, используя Mo-й тигель или Ir-й тигель или тигель, состоящий из сплава Ir и Re (где значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$, а значение y концентрации Sc лежит в диапазоне $0 \leq y \leq 0,4$).

(2) Способ получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из оксида типа граната, характеризующийся выращиванием монокристалла из расплава, имеющего состав, позволяющий получать монокристалл, выраженный как $(Pr_yRE_{1-x})_3(M^1{}_yM^2{}_{1-2y}M^3{}_y)_5O_{12}$ и имеющий концентрацию Pr от 5x до 15x, способом микровытягивания вниз, используя при этом Mo-й тигель или Ir-й тигель или тигель, состоящий из сплава Ir и Re (где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, M^1 представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Mg, Ca и Sr, M^2 представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Al, Ga и Sc, M^3 представляет собой одно вещество или два или более веществ, выбранных из Zr и Hf, значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$, а концентрация y лежит в диапазоне $0 \leq y \leq 0,5$).

(3) Способ получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из редкоземельного оксида, характеризующийся выращиванием монокристалла из расплава, имеющего состав, позволяющий получать монокристалл, выраженный как $RePr_xRE_{1-x}VO_4$ и имеющий концентрацию Pr от 5x до 15x, способом микровытягивания вниз, используя при этом Mo-й тигель или Ir-й тигель или тигель, состоящий из сплава Ir и Re (где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$).

(4) Способ получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из редкоземельного оксида, характеризующийся выращиванием монокристалла из расплава, имеющего состав, позволяющий получать монокристалл, выраженный как $(Pr_xRE_{1-x})RE'O_3$ и имеющий концентрацию Pr от 5x до 15x, способом микровытягивания вниз, используя при этом Mo-й тигель или Ir-й тигель или тигель, состоящий из сплава Ir и Re (где RE и RE', отличаясь друг от друга, представляют собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из La, Gd, Y, Sc, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$).

(5) Способ получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из редкоземельного оксида, характеризующийся выращиванием монокристалла из расплава, имеющего состав, позволяющий получать монокристалл, выраженный

как $(Pr_xRE_{1-x})_zSi_2O_7$ и имеющий концентрацию Pr от 5x до 15x, способом микровытягивания вниз, используя при этом Mo-й тигель или Ir-й тигель или тигель, состоящий из сплава Ir и Re (где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$).

[0068] В способе получения всех этих оксидов в качестве исходных материалов могут использоваться любые обычные оксидные материалы, но в случае когда ставится цель использовать эти оксиды в качестве сцинтилляционных монокристаллов, особенно предпочтительно использование исходных материалов с высокой чистотой в 99,99% или более (4N или выше), при этом эти исходные материалы навешивают и перемешивают таким образом, чтобы получить целевой состав при формировании расплава. Особенно предпочтительно, когда эти исходные материалы характеризуются чрезвычайно низким содержанием примесей за исключением целевых компонентов (например, в 1 миллионную долю или менее). Особенно предпочтительно использовать исходные материалы, почти не содержащие элементов (например, Tb), демонстрирующих световую эмиссию вблизи эмитируемой длины волны.

[0069] Росту кристалла предпочтительно дают возможность протекать в атмосфере инертного газа (например, Ar, N_2, He и т.д.). Также допустимо использовать смешанный газ, состоящий из инертного газа (например, Ar, N_2, He и т.д.) и газообразного кислорода. Следует отметить, что, в случае когда обеспечивают протекание роста кристалла, используя при этом смешанный газ, парциальное давление кислорода предпочтительно устанавливают на уровне 2% или менее с целью предотвратить окисление тигля. При последующих обработках, таких как отжиг после выращивания кристалла, может быть использован газообразный кислород, инертный газ (например, Ar, N_2, He и т.д.) и смешанный газ, состоящий из инертного газа (например, Ar, N_2, He и т.д.) и газообразного кислорода. Когда используют смешанный газ, парциальное давление кислорода не ограничивают 2%, и при смешивании можно выбрать любое соотношение компонентов в пределах от 0% до 100%.

[0070] Кроме способа микровытягивания вниз приемлемы любые из способа Чохральского (способ вытягивания вверх), способа Бриджмена, способа зонной плавки или способа выращивания профильного кристалла способом Степанова (способ EFG с ограничением края и подпиткой расплава) и т.д. без специального ограничения в качестве способа получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из оксида согласно данному варианту воплощения, причем предпочтителен способ Чохральского или способ Бриджмена ввиду получения монокристалла большого размера с целью улучшения выхода продукта и относительного сокращения технологических потерь. С другой стороны, поскольку в качестве сцинтилляционного монокристалла используется только монокристалл небольшого размера, предпочтительны способ зонной плавки, способ EFG, способ микровытягивания вниз и способ Чохральского, потому что отсутствует или существует лишь небольшая необходимость в последующей обработке, при этом способ микровытягивания вниз и способ зонной плавки особенно предпочтительны по причинам смачиваемости тигля расплавом и т.д. Концентрацию Pr в расплаве во время загрузки задают в приблизительно 5-15 раз выше целевого количества введения, хотя она может изменяться в зависимости от используемого способа получения.

[0071] Также допустимо выполнять тигель и нагреватель второго подогрева,

используемые в данной работе, используя платину, иридий, родий, рений или их сплавы.

[0072] Приемлем не только высокочастотный генератор, но также и нагреватель резистивного типа.

[0073] В последующих абзацах будет описан способ получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из оксида согласно данному варианту воплощения, со ссылкой на типичный случай реализации способа получения монокристалла, основанного на способе микровытягивания вниз, но не ограничиваясь только им.

[0074] В способе микровытягивания вниз обеспечивают протекание процесса, применяя установку для микровытягивания вниз с регулируемой атмосферой, использующую высокочастотный индукционный нагрев. Эта установка для микровытягивания вниз имеет тигель, приспособление для крепления затравки, удерживающее затравку с возможностью приведения в контакт с расплавом, вытекающим из небольшого отверстия, предусмотренного в основании (дне) тигля, перемещающийся механизм, который перемещает приспособление для крепления затравки вниз, устройство управления скоростью перемещения перемещающегося механизма и блок индукционного нагрева, который нагревает тигель. Установка получения монокристалла выполнена с возможностью получения монокристалла посредством образования поверхности раздела твердая фаза-жидкость прямо под тиглем и посредством перемещения кристалла-затравки вниз.

[0075] Тигель выполняют из углерода, платины, иридия, родия, рения или их сплава, а нагреватель второго подогрева, который является нагревающим элементом, состоящим из углерода, платины, иридия, родия, рения или их сплава, располагают по внешней окружности основания тигля. Тигель и нагреватель второго подогрева выполнены регулируемыми по энергии тепловыделения посредством регулирования выходной мощности блока индукционного нагрева так, чтобы управлять температурой и ее распределением на поверхности раздела твердая фаза-жидкость в расплаве, вытягиваемом из небольшого отверстия, расположенного в основании тигля.

[0076] Установку также выполняют с использованием нержавеющей стали в качестве материала рабочей камеры, используя окно из SiO_2 (для наблюдения за процессом роста), оснащая ротационным насосом для обеспечения возможности контроля за атмосферой так, чтобы могла быть достигнута степень вакуумирования 1×10^{-3} торр или менее перед замещением газа. В камеру можно подавать газ Ar, N_2, H_2, O_2 или тому подобный после точного контролирования его расхода с использованием подключенного расходомера.

[0077] Используя эту установку, исходный материал, приготовленный в соответствии с описанным выше способом, помещают в тигель, внутреннее пространство печи вакуумируют до высокой степени разряжения, газ Ar или смешанный газ, состоящий из газа Ar и газа O_2, вводят в печь таким образом, чтобы создать во внутреннем пространстве печи атмосферу инертного газа или атмосферу с низким парциальным давлением кислорода, тигель нагревают в результате постепенной подачи высокочастотной мощности к катушке высокочастотного индукционного нагрева и таким образом полностью расплавляют исходный материал в тигле.

[0078] Затем кристалл выращивают согласно описанным далее методикам. Кристалл-затравку постепенно поднимают с заранее заданной скоростью, приводят его кончик в контакт с отверстием в нижнем конце тигля так, чтобы аккуратно ввести кончик в него, и выращивают кристалл в результате опускания кристалла-затравки по

оси вытягивания вниз, при этом контролируя температуру расплава. Кристалл-затравка предпочтительно эквивалентен выращиваемому в виде кристалла веществу или имеет близкие к нему структуру и состав, но этим не ограничен. Использованный в данном описании кристалл-затравка предпочтительно имеет четко определенную ориентацию. Рост кристалла заканчивается, когда закристаллизовался весь имеющийся материал, не оставив остаточного расплава. С другой стороны, может быть встроено устройство для последовательной загрузки исходного материала с целью поддержания состава одинаковым и получения длинного кристалла.

[0079] В последующих абзацах будет описан способ получения сцинтилляционного монокристалла, состоящего из оксида согласно данному варианту воплощения, также иллюстрирующий в качестве примера вариант воплощения с использованием способа вытягивания вверх, но не ограничивающийся им.

[0080] Способ Чохральского (с вытягиванием вверх) осуществляют, используя установку на основе высокочастотного индукционного нагрева. Способ Чохральского является способом получения монокристалла, в котором исходный материал помещают в тигель, тигель нагревают так, чтобы расплавить помещенный в него исходный материал, и опускают в расплав исходного материала кристалл-затравку и вытягивают вверх таким образом, чтобы обеспечить возможность монокристаллу расти. Более конкретно, указанный способ является способом получения монокристалла, основанным на процессе вытягивания вверх, при этом соотношение температур в градиенте между центром и наружной стороной монокристалла, если рассматривать горизонтальное сечение на протяжении длины вытягивания вверх, регулируют так, чтобы оно составляло не более 1,25 или меньше и, в частности, 1 или около того, посредством отсечения теплоты излучения, направленной от поверхности расплава к растущему вверх монокристаллу, который при этом вытягивают вверх над расплавом, при способствовании тепловому излучению от верхней затвердевшей части монокристалла с тем, чтобы уменьшить температурный градиент в направлении оси монокристалла на протяжении длины вытягивания вверх в области от нижней части, которая находится со стороны расплава, до ее верхней части, и посредством поддержания температуры монокристалла через подавление теплового излучения от ее внешней периферийной поверхностной части на протяжении длины вытягивания вверх в области от нижней части, которая находится со стороны расплава, до ее верхней части.

[0081] Способ получения сцинтилляционного монокристалла приведен в качестве способа получения сцинтилляционного монокристалла на основе фторидов, если в составе расплава, выраженном приведенной выше общей формулой, задано значение p=0.

[0082] Эта разновидность способа получения может быть более конкретно проиллюстрирована в качестве примера способом выращивания монокристалла на основе способа микровытягивания вниз при использовании расплава, имеющего состав, который позволяет получать монокристалл, выраженный как $Pr_wM_xRE_yF_z$, и концентрацию Pr от 5w до 15w. В этом случае RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из La, Ce, Yb, Lu и Y, M представляет собой любое одно вещество или более веществ, выбранных из Li, Na, K, Cs, Rb, Mg, Ca, Sr, Ba и Al, и $0{,}0001 \le w < 0{,}3$, $0 < x < 10$, $0 < y < 10$ и $0 < z < 50$. Здесь следует отметить, что, как указано ранее, значение w концентрации Pr лежит в диапазоне $0{,}0001 \le w < 0{,}3000$, предпочтительно - $0{,}0010 \le w < 0{,}0500$, а более предпочтительно - $0{,}0020 \le w < 0{,}0200$. Поскольку x, y и z задаются произвольно в зависимости от состава кристалла и,

следовательно, не имеют особых ограничений, то они составляют предпочтительно $0<x<10,0000$, а более предпочтительно - $0<x<4,0000$, $0<y<10,0000$, а более предпочтительно - $0<y<4,0000$, и $0<z<50,0000$, а более предпочтительно - $0<z<20,0000$.

[0083] В способе получения сцинтилляционного монокристалла на основе фторидов исходные материалы, применимые в данном описании, могут быть любыми обычными фторидными материалами, однако в том случае, когда ставится цель использовать их в качестве сцинтилляционных монокристаллов, особенно предпочтительно использование исходных материалов с высокой чистотой в 99,9% или более (3N или выше), при этом эти исходные материалы навешивают и перемешивают таким образом, чтобы получить целевой состав. Особенно предпочтительно, когда эти исходные материалы характеризуются чрезвычайно низким содержанием примесей за исключением целевых компонентов (например, в 1 миллионную долю или менее). Используемые в данном случае исходные материалы предпочтительно являются имеющими концентрацию кислорода 1000 миллионных долей или ниже, а особенно предпочтительно - имеющими концентрацию кислорода 100 миллионных долей или ниже. Однако, даже в случае когда используются исходные материалы, имеющие высокие концентрации кислорода, может быть получен кристалл высокого качества при помощи предварительной обработки этих материалов в атмосфере газообразного фторидного соединения или при помощи добавления 10% или меньшего количества фторидного соединения в качестве раскислителя с тем, чтобы во время роста кристалла получить расплав с низким уровнем кислорода (например, 100 миллионных долей или менее).

[0084] Сцинтилляционный материал на основе фторидов, выраженный как $Pr_wM_xRE_yF_z$ или $Pr_wM_xF_z$, содержащий редкоземельный фторид, может легко превращаться в редкоземельный оксифторид, если остаются следовые количества кислорода.

[0085] Рост кристалла предпочтительно осуществляют в вакуумированной атмосфере, атмосфере инертного газа, атмосфере с чрезвычайно низким содержанием кислорода и, кроме того, в атмосфере, содержащей соединение фтора. То же самое применяется не только на стадии роста кристалла (стадии получения монокристалла), но также и на предварительных стадиях обработки, таких как расплавление исходных материалов, и на стадиях последующей обработки, таких как отжиг. Газом, содержащим фторидное соединение, использованным в данном описании, особенно предпочтительно является обычно используемый CF_4, при этом подходящими являются также газ F_2, газ HF, газ BF_3 и т.п. Эти газы могут быть использованы разбавленными инертным газом (например, Ar, N_2, He и т.д.).

[0086] В качестве способа получения сцинтилляционного монокристалла на основе фторидов, выраженного как $Pr_wM_xRE_yF_z$ или $Pr_wM_xF_z$ согласно данному варианту воплощения, приемлемы любые из способа микровытягивания вниз, способа Чохральского (способ вытягивания вверх), способа Бриджмена, способа зонной плавки или способа EFG и т.д. без специального ограничения, причем предпочтителен способ Чохральского или способ Бриджмена ввиду получения монокристалла большого размера с целью улучшения выхода продукта и относительного сокращения технологических потерь. С другой стороны, поскольку в качестве сцинтилляционного монокристалла используется только монокристалл небольшого размера, предпочтительными являются способ зонной плавки, способ EFG, способ микровытягивания вниз и способ Чохральского, потому что отсутствует или существует лишь небольшая необходимость в последующей обработке, при этом

способ микровытягивания вниз и способ зонной плавки особенно предпочтительны по причинам смачиваемости тигля расплавом и т.д. Концентрацию Pr, содержащегося в расплаве во время загрузки, задают в приблизительно 5-15 раз выше целевого количества введения, хотя она может изменяться в зависимости от принятого способа получения.

[0087] Поскольку точки плавления всех исходных материалов на основе фторидов, используемых в данном описании, ниже чем 1300°C, то температура менее чем 1300°C является достаточно подходящей для любой из технологий роста кристаллов, включая способ микровытягивания вниз, способ Чохральского, способ Бриджмена, способ зонной плавки и способ EFG. Соответственно, выходная мощность высокочастотного генератора может быть значительно снижена, а стоимость производства, следовательно, может быть уменьшена. Кроме того, применим не только высокочастотный генератор, но также и резистивный нагреватель. Хотя используемые тигель и нагреватель второго подогрева могут состоять из платины, иридия, родия, рения или их сплава, в данном случае оказывается возможным использовать углерод, который не был подходящим для стадии формирования кристалла оксида, такого как GSO, так что стоимость производства может быть дополнительно снижена.

[0088] Например, $K(Y_{0,99}Pr_{0,01})_3F_{10}$ имеет точку плавления 1050°C, указывающую на то, что она находится гораздо ниже чем 2150°C, которая установлена для Ce:LSO.

[0089] В последующих абзацах без ограничения настоящего изобретения будет описан способ получения сцинтилляционного монокристалла на основе фторидов согласно данному варианту воплощения со ссылкой на типичный способ получения монокристалла, основанный на способе микровытягивания вниз.

[0090] Способ микровытягивания вниз осуществляют, применяя установку для микровытягивания вниз с регулируемой атмосферой, использующую высокочастотный индукционный нагрев. Эта установка для микровытягивания вниз имеет тигель, приспособление для крепления затравки, удерживающее затравку с возможностью приведения в контакт с расплавом, вытекающим из небольшого отверстия, расположенного в основании тигля, перемещающийся механизм, который перемещает приспособление для крепления затравки вниз, устройство управления скоростью перемещения перемещающегося механизма и блок индукционного нагрева, который нагревает тигель. Установка получения монокристалла выполнена с возможностью получения монокристалла посредством образования поверхности раздела твердая фаза-жидкость прямо под тиглем и в результате перемещения кристалла-затравки вниз.

[0091] Тигель выполняют из углерода, платины, иридия, родия, рения или их сплава, а нагреватель второго подогрева, который является нагревающим элементом, состоящим из углерода, платины, иридия, родия, рения или их сплава, располагают по внешней окружности основания тигля. Тигель и нагреватель второго подогрева выполнены регулируемыми по энергии тепловыделения посредством регулирования выходной мощности блока индукционного нагрева так, чтобы управлять температурой и ее распределением в области поверхности раздела твердая фаза-жидкость в расплаве, вытягиваемом из небольшого отверстия, расположенного в основании тигля.

[0092] В такой установке для микровытягивания вниз с точно контролируемым составом атмосферы может осуществляться точное управление атмосферой в рабочей камере таким образом, чтобы сделать возможным рост кристаллов фторидов. Установка выполнена с использованием нержавеющей стали и CaF_2 в качестве

материалов, образующих соответственно рабочую камеру и окно, в ней имеется ротационный насос или турбомолекулярный насос в дополнение к уже установленному ротационному насосу с тем, чтобы обеспечить возможность вакуумирования с достижением высокой степени разрежения, что является наиболее важным при росте кристаллов фторидов, так что может быть достигнута степень вакуумирования 1×10^{-3} торр или менее. В рабочую камеру можно подавать газ CF_4, Ar, N_2, H_2 или тому подобный после точного регулирования их расхода с использованием подключенного расходомера.

[0093] Используя такую установку, исходный материал, приготовленный согласно описанному выше способу, помещают в тигель, внутреннее пространство печи вакуумируют до высокой степени разрежения, проводят прокаливание для удаления остающейся на поверхностях влаги и вводят в печь высокочистый газ Ar (степень чистоты 6N) или высокочистый газ CF_4 (степень чистоты 6N) с тем, чтобы создать во внутреннем пространстве печи атмосферу инертного газа или атмосферу газообразного фторидного соединения, тигель нагревают в результате постепенной подачи высокочастотной мощности к катушке высокочастотного индукционного нагрева и таким образом полностью расплавляют исходный материал в тигле.

[0094] Затем кристалл выращивают согласно описанным далее методикам. Кристалл-затравку постепенно поднимают с заранее заданной скоростью, приводят ее кончик в контакт с отверстием в нижнем конце тигля так, чтобы аккуратно ввести кончик в него, и выращивают кристалл в результате опускания кристалла-затравки по оси вытягивания вниз, при этом контролируя температуру расплава. Кристалл-затравка предпочтительно эквивалентен выращиваемому в виде кристалла целевому веществу или имеет близкие к нему структуру и состав, но этим не ограничен. Использованный в данном описании кристалл-затравка предпочтительно имеет четко определенную ориентацию. Рост кристалла заканчивается, когда закристаллизовался весь имеющийся материал, не оставив остаточного расплава. С другой стороны, может быть встроено устройство для последовательной загрузки исходного материала с целью поддержания состава одинаковым и получения длинного кристалла.

[0095] Также в способе получения сцинтилляционного монокристалла на основе фторидов согласно данному варианту воплощения приемлем описанный выше способ вытягивания вверх.

[0096] Сцинтилляционный монокристалл на основе оксидов или фторидов согласно данному варианту воплощения может быть сконфигурирован с получением сцинтиллятора и затем может быть объединен с блоком детектирования излучения, который детектирует радиоактивный луч, и со светопринимающим блоком, который воспринимает флюоресценцию, имитируемую в результате детектирования радиоактивного луча блоком детектирования излучения, таким образом, чтобы сделать его пригодным в качестве детектора излучения. Также допустимо создание устройства радиационного обследования, оснащенного таким детектором излучения.

[0097] Устройство радиационного обследования является подходящим для применений в устройстве обработки медицинских изображений, таком как устройство позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), рентгеновской компьютерной томографии (РКТ), однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) и т.п. Что касается методов ПЭТ, то предпочтительные примеры включают двухмерную ПЭТ, трехмерную ПЭТ, времяпролетную (TOF, от англ. time-of-flight) ПЭТ и ПЭТ с определением глубины взаимодействия (DOI, от англ. depth-of-interaction). Они могут использоваться в комбинации.

[0098] Светопринимающий блок, используемый в детекторе излучения согласно данному варианту воплощения, может быть проиллюстрирован в качестве примера позиционно-чувствительным фотоумножителем (PS-PMT), фотодиодом (PD) или лавинным фотодиодом (APD).

[0099] На фиг.43 показана примерная конфигурация устройства ПЭТ согласно данному варианту воплощения. Устройство ПЭТ 100, показанное на фиг.43, состоит из множества детекторов 110 излучения, блока арифметических схем (схемы 120 расчета совпадений, схемы 130 установления различий по энергии и схемы 140 расчета местоположения), обрабатывающего данные, полученные от отдельных детекторов 110 излучения, и блока обработки изображения (блока 150 формирования изображения и блока 160 вывода изображения), обрабатывающего результаты вычисления блока арифметических схем и осуществляющего вывод изображений.

[0100] Каждый детектор 110 излучения состоит из массива 111 сцинтилляторов, фотоумножителя 112 и усилителя 113 для того, чтобы детектировать γ-луч, имитируемый из конкретного места, и в конечном итоге преобразовывать его в электрические сигналы. Матрица 111 сцинтилляторов сконфигурирована имеющим множество сцинтилляторов, которые функционируют в качестве блоков обнаружения γ-луча, расположенных в виде матрицы. Каждый сцинтиллятор возбуждается γ-лучом, а затем претерпевает переход на более устойчивый энергетический уровень, эмитируя при этом флюоресценцию в ультрафиолетовом диапазоне длин волн. Флюоресценция, как описано выше, предположительно приписывается 5d-4f переходу и имеет длину волны от 200 до 350 нм, причем время жизни флюоресценции составляет от 1 до 300 нсек или около того, как описано далее. Каждый фотоумножитель 112 функционирует как светопринимающий блок, который воспринимает флюоресценцию. Фотоумножитель 112 усиливает флюоресценцию, эмитируемую из соответствующей матрицы 111 сцинтилляторов, и преобразовывает ее в электрический сигнал. Полученный в результате такого преобразования электрический сигнал усиливается усилителем 113. Таким образом γ-луч детектируется каждым детектором 110 излучения. Данные по обнаружению γ-луча от индивидуальных детекторов 110 излучения затем передаются в схему 120 расчета совпадений. Схема 120 расчета совпадений осуществляет корреляцию полученных данных по обнаружению γ-луча для идентификации информации о том детекторе 110 излучения, который детектировал γ-луч, и времени сбора данных и посылает результат в схему 130 установления различий по энергии.

[0101] Схема 130 установления различий по энергии извлекает предварительно определенные данные по удельной энергии из данных по обнаружению γ-луча и собирает данные по интенсивности. В случае когда используется Lu-содержащий сцинтиллятор, извлеченные данные по энергии включают в себя эмитируемый позитроном γ-луч (511 кэВ), энергию в 420 кэВ, выделяющуюся при β-распаде изотопа ^{176}Lu, содержащегося в количестве вплоть до 2,6% в Lu, и, так как существует необходимость отличать эти энергии от энергий, приписываемых γ-распаду (307 кэВ), следующему за β-распадом, то полосу дискриминации обычно устанавливают на 415 кэВ с тем, чтобы извлекать из данных по обнаружению γ-луча только энергии выше этого значения. Кроме того, в случае когда используется сцинтиллятор, не содержащий Lu, существует подобная необходимость различать порожденный позитроном γ-луч и естественно встречающиеся частицы с высокой энергией, такие как космические лучи, присутствующие в природе, и в этом случае возникает необходимость в установке полосы дискриминации.

[0102] Схема 140 расчета местоположения рассчитывает информацию о местоположении γ-луча, основываясь на информации о дискриминации детекторов 110 излучения, детектирующих данные по обнаружению индивидуального γ-луча, осуществляет корреляцию результата с данными по интенсивности и посылает его в блок 150 формирования изображения.

[0103] Блок 150 формирования изображения создает данные по распределению интенсивности γ-луча в томографическом изображении конкретного места, основанные на данных по интенсивности, скоррелированных с информацией о местоположении. Данные по распределению интенсивности γ-луча выводятся в виде изображения блоком 160 вывода изображения.

[0104] В случае когда устройство радиационного обследования выполнено имеющим описанный выше детектор излучения, это устройство радиационного обследования может быть использовано в качестве автономного устройства или может быть использовано в устройстве магнитной резонансной томографии (МРТ), устройстве компьютерной томографии (КГ) и однофотонной компьютерной томографии (ОФЭКТ) или устройстве комбинированного типа.

[0105] Детектор излучения согласно данному варианту воплощения может быть использован также для рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) и в радиографическом устройстве для обследования просвечиванием радиоактивным лучом или их комбинации.

[0106] Как было описано выше, сцинтилляционный монокристалл, используемый в детекторе излучения согласно данному варианту воплощения, предпочтительно является приемлемым для быстродействующего (с быстрым откликом) детектирования радиоактивного луча в ПЭТ и ОФЭКТ, если длина волны флюоресценции, эмитированной при возбуждении гамма-лучом, находится в диапазоне от 200 до 350 нм, а предпочтительно - от 200 до 310 нм.

[0107] Флюоресценция, эмитированная сцинтилляционным монокристаллом согласно данному варианту воплощения, имеет короткое время жизни, обычно характеризуемое временем затухания при комнатной температуре от 1 до 300 нсек, а предпочтительно - от 1 до 50 нсек.

[0108] Эта разновидность сцинтилляционного монокристалла способна успешно реализовать высокоэнергетическую эмиссию и короткое время жизни флюоресценции (малую постоянную затухания) в ультрафиолетовой области, которые до этого было трудно реализовать, и, как ожидается, в основном найдет применение во времяпролетной (TOF) ПЭТ.

[0109] Более конкретно, при измерении (выборке) при помощи ПЭТ сцинтилляционный кристалл в индивидуальных детекторах излучения, соответствующих конкретному месту, возбуждается гамма-лучом из этого конкретного места, генерируется флюоресценция, и эта флюоресценция детектируется с целью обнаружения излучения. Следующее измерение, соответственно, будет возможно только спустя некоторое время, достаточное для ослабления флюоресценции, эмитированной из монокристалла отдельных сцинтилляторов. Выполняя детектор излучения со сцинтиллятором, использующим монокристалл, описанный в этом варианте воплощения, оказывается возможным позволить флюоресценции затухать за короткий период времени и получить высокоэнергетическую эмиссию, измеримую даже в течение короткого периода времени. Соответственно, может быть достигнуто большое разрешение по времени и может быть увеличено число выборок в единицу времени.

Примеры

[0110] В приведенных ниже абзацах подробно описаны конкретные примеры согласно настоящему изобретению со ссылкой на прилагаемые чертежи, но без ограничения настоящего изобретения. В приведенных ниже примерах концентрация Pr будет определяться либо по концентрации в кристалле, либо по концентрации в расплаве (по загрузке), при этом в отдельных примерах было установлено, что соотношение концентрации по загрузке к концентрации в кристалле соответствует отношению в приблизительно от 1 до 5.

[0111] (Пример A1)

Сцинтилляционный монокристалл оксида типа граната, выраженный составом $(Pr_{0,001}Y_{0,999})_3Al_5O_{12}$ (Pr0,1%:YAG), получили способом микровытягивания вниз. Полученный кристалл показан на фиг.1. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0112] (Пример A2)

Сцинтилляционный монокристалл оксида типа граната, выраженный составом $(Pr_{0,002}Y_{0,998})_3Al_5O_{12}$ (Pr0,2%:YAG), получили способом микровытягивания вниз. Полученный кристалл показан на фиг.2. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0113] (Пример A3)

Сцинтилляционный монокристалл оксида типа граната, выраженный составом $(Pr_{0,001}Lu_{0,999})_3Al_5O_{12}$ (Pr0,1%:LuAG), получили способом микровытягивания вниз. Полученный кристалл показан на фиг.3. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0114] (Пример A4)

Сцинтилляционный монокристалл оксида типа граната, выраженный составом $(Pr_{0,002}Lu_{0,998})_3Al_5O_{12}$ (Pr0,2%:LuAG), получили способом микровытягивания вниз. Полученный кристалл показан на фиг.4. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0115] (Пример A5)

Сцинтилляционный монокристалл оксида типа граната, выраженный составом $(Pr_{0,002}Y_{0,998})_3Al_5O_{12}$ (Pr0,2%:YAG), получили способом вытягивания вверх. Полученный кристалл показан на фиг.5. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0116] (Пример A6)

Сцинтилляционный монокристалл оксида типа граната, выраженный составом $(Pr_{0,002}Lu_{0,998})_3Al_5O_{12}$ (Pr0,2%:LuAG), получили способом вытягивания вверх. Полученный кристалл показан на фиг.6. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0117] (Пример A7)

Сцинтилляционный монокристалл оксида типа граната, выраженный составом $(Pr_{0,002}Y_{0,998})_2SiO_5$ (Pr0,2%:Y_2SiO_5), получили способом вытягивания вверх. Полученный кристалл показан на фиг.7. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0118] На фиг.8 приведен график, показывающий кривые с результатами по исследованию эмиссионных характеристик Pr0,1%:YAG, Pr0,2%:YAG и BGO, измеренных при радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα), а на фиг.9 приведен график, показывающий кривые с результатами по исследованию эмиссионных характеристик Pr0,1%:LuAG, Pr0,2%:LuAG и BGO, измеренных при

радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα). Кроме того, на фиг.10 приведен график, показывающий кривые с результатами по исследованию эмиссионных характеристик Pr0,2%:YSO и BGO, измеренных при радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα). На всех этих фигурах для сравнения с 10-кратным увеличением приведен эмиссионный пик BGO. На фиг.11, фиг.12 и фиг.13 приведены графики, показывающие кривые времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr0,2%:YAG, Pr0,2%:LuAG и Pr0,2%:YSO соответственно, полученные при измерении фотолюминесценции.

[0119] Как следует из этих результатов, эмиссия сцинтилляционных монокристаллов, состоящих из Pr-содержащих оксидов, согласно настоящему изобретению характеризуется чрезвычайно большими значениями коэффициента абсолютного светового выхода. Также установлено, что время затухания флюоресценции является более коротким, чем до 20 нсек, что служит доказательством их большого превосходства в качестве сцинтилляционных материалов.

[0120] Следует отметить, что эмиссия сцинтилляционного монокристалла, состоящего из Pr-содержащих оксидов, также включает в себя медленные компоненты. Однако благодаря их чрезвычайно большому коэффициенту абсолютного светового выхода они в достаточной степени превосходят BGO, GSO и т.д. только благодаря вкладу компонент с малым временем жизни при использовании в ПЭТ. Предлагается, что при использовании также эмиссии, отнесенной к медленным компонентам, для применений по неразрушающему обследованию, таких как РКТ, устройство обследования просвечиванием радиоактивным лучом и т.д., они могут быть использованы в качестве сцинтилляционных монокристаллов, имеющих еще большие значения коэффициента абсолютного светового выхода.

[0121] (Пример B1)

Сцинтилляционный монокристалл оксида типа граната, выраженный составом $(Pr_{0,002}Y_{0,998})_3(Sc_{0,01}Al_{0,99})_5O_{12}$ (Pr0,2%, Sc1%:YAG), получили способом микровытягивания вниз. Полученный кристалл показан на фиг.14. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0122] (Пример B2)

Сцинтилляционный монокристалл оксида типа граната, выраженный составом $(Pr_{0,002}Lu_{0,998})_3(Sc_{0,01}Al_{0,99})_5O_{12}$ (Pr0,2%, Sc1%:LuAG), получили способом микровытягивания вниз. Полученный кристалл показан на фиг.15. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0123] (Пример B3)

Сцинтилляционный монокристалл оксида типа граната, выраженный составом $(Pr_{0,002}Lu_{0,998})_3(Mg_{0,05}Al_{0,90}Hf_{0,05})_5O_{12}$ (Pr0,2%, Mg5%, Hf5%:LuAG), получили способом микровытягивания вниз. Полученный кристалл показан на фиг.16. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0124] (Пример B4)

Сцинтилляционный монокристалл оксида, выраженный составом $(PrY)_2O_3$ (Pr1%-по загрузке:Y_2O_3), получили способом микровытягивания вниз. Полученный кристалл показан на фиг.17. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0125] (Пример B5)

Сцинтилляционный монокристалл оксида типа перовскита, выраженный составом $(PrY)AlO_3$ (Pr1%-по загрузке:YAP), получили способом микровытягивания вниз. Полученный кристалл показан на фиг.18. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0126] (Пример B6)

Сцинтилляционный монокристалл оксида, выраженный составом (PrLu)VO_4 (Pr1%-по загрузке:$LuVO_4$), получили способом микровытягивания вниз. Полученный кристалл показан на фиг.19. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0127] (Пример B7)

Сцинтилляционный монокристалл оксида типа перовскита, выраженный составом ($Pr_{0,002}La_{0,998}$)LuO_3 (Pr0,2%:$LaLuO_3$), получили способом микровытягивания вниз. Полученный кристалл показан на фиг.20. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0128] (Пример B8)

Сцинтилляционный монокристалл оксида, выраженный составом ($Pr_{0,002}Lu_{0,998}$)$_2Si_2O_7$ (Pr0,2%: $Lu_2Si_2O_7$), получили способом микровытягивания вниз. Полученный кристалл показан на фиг.21. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0129] На фиг.22 приведен график, показывающий кривые с результатами по исследованию эмиссионных характеристик Pr0,2%, Sc1%:YAG, Pr0,2%, Sc1%:LuAG, Pr0,2%, Mg5%, Hf5%:LuAG и BGO, полученных при измерении радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα). На фиг.23 приведен график, показывающий кривую эмиссионных характеристик Pr1%:Y_2O_3, полученных при измерении радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα). На фиг.24 приведен график, показывающий кривую эмиссионных характеристик Pr1%: YAP, полученных при измерении радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα). На фиг.25 приведен график, показывающий кривую эмиссионных характеристик Pr1%:YVO_4, полученных при измерении радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα). На фиг.26 приведен график, показывающий кривую эмиссионных характеристик Pr0,2%:$LaLuO_3$, полученных при измерении радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα). На фиг.27 приведен график, показывающий кривую эмиссионных характеристик Pr0,2%: $Lu_2Si_2O_7$, полученных при измерении радиолюминесценции (возбуждение рентгеновским излучением CuKα).

[0130] На фиг.28 приведены результаты измерения энергии эмиссии Pr0,2%:YAG, Pr0,2%:LuAG и BGO, полученные при возбуждении γ-лучом. Как следует из фиг.28, появление пиков со стороны большего канала по оси X указывает, что имеет место высокоэнергетическая флюоресценция, при этом результаты измерения показали, что в Pr0,2%:YAG достигнута энергия эмиссии, в два раза большая, чем у BGO, а в Pr0,2%: LuAG - в три раза большая, чем у BGO.

[0131] На фиг.29 приведен график, показывающий кривую с результатами измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr0,2%, Sc1%:YAG. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 12,6 нс. На фиг.30 приведен график, показывающий кривую с результатами измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr0,2%, Sc1%:LuAG. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 21,3 нс. На фиг.31 приведен график, показывающий кривую с результатами измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr0,2%, Mg5%, Hf5%:LuAG. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 21,7 нс. На фиг.32 приведен график, показывающий кривую с результатами измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr1%-по загрузке:Y_2O_3.

Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 21,5 нс. На фиг.33 приведен график, показывающий кривую с результатами измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr1%-по загрузке:YAP. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 11,2 нс. На фиг.34 приведен график, показывающий кривую с результатами измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr1%-по загрузке:$LuVO_4$. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 22,0 нс. На фиг.35 приведен график, показывающий кривую с результатами измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr0,2%:$LaLuO_3$. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 6,7 нс. На фиг.36 приведен график, показывающий кривую с результатами измерения времени затухания флюоресценции (затухания фотолюминесценции) Pr0,2%:$Lu_2Si_2O_7$. Получены данные, которые указывают на столь короткое время жизни флюоресценции, как 26,1 нс.

[0132] Как очевидно из этих результатов, эмиссия сцинтилляционных монокристаллов, состоящих из Pr-содержащих оксидов, согласно настоящему изобретению характеризуется чрезвычайно большими значениями коэффициента абсолютного (светового выхода. Также установлено, что время затухания флюоресценции является более коротким чем до 20 нсек, что служит доказательством их большого превосходства в качестве сцинтилляционных материалов.

[0133] Следует отметить, что эмиссия сцинтилляционного монокристалла, состоящего из Pr-содержащих оксидов, включает в себя также медленные компоненты. Однако благодаря их чрезвычайно большому абсолютному коэффициенту светового выхода они в достаточной степени превосходят BGO, GSO и т.д. только благодаря вкладу компонент с малым временем жизни при использования в ПЭТ. Предлагается, что при использовании также эмиссии, отнесенной к медленным компонентам, для применений по неразрушающему обследованию, таких как РКТ, устройство обследования просвечиванием радиоактивным лучом и т.д., они могут быть использованы в качестве сцинтилляционных монокристаллов, имеющих еще большие значения коэффициента абсолютного светового выхода.

[0134] (Пример С1)

Сцинтилляционный монокристалл фторида, выраженный составом $K(PrY)_3F_{10}$ (Pr1%-по загрузке:KYF), получили способом микровытягивания вниз. Полученный кристалл показан на фиг.37. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0135] (Пример С2)

Сцинтилляционный монокристалл фторида, выраженный составом $K(PrYLu)_3F_{10}$ (Pr2%-по загрузке:KYLuF), получили способом микровытягивания вниз. Полученный кристалл показан на фиг.38. Установлено, что монокристалл является прозрачным.

[0136] На фиг.39 приведен график, показывающий кривую эмиссионных характеристик Pr1%-по загрузке:KYF, полученных при измерении радиолюминесценции, а на фиг.40 приведен график, показывающий кривую эмиссионных характеристик BGO, полученных при измерении радиолюминесценции. На фиг.41 приведен график, показывающий кривую времени затухания флюоресценции Pr1%-по загрузке:KYF, полученную при измерении фотолюминесценции при переходе из возбужденного состояния 218 нм → 240 нм.

[0137] Было установлено, что индуцированная γ-лучом эмиссия в монокристалле Pr2%-по загрузке:KYLuF была в два раза больше, чем эмиссия в монокристалле Pr1%-по загрузке:KYF, что указывает на то, что допирование лютецием (Lu) приводило к чрезвычайно большому коэффициенту абсолютного светового выхода. С другой стороны, время жизни флюоресценции осталось на эквивалентном уровне.

[0138] Как можно видеть из приведенных результатов, эмиссия сцинтилляционных монокристаллов, состоящих из Pr-содержащих оксидов, согласно настоящему изобретению характеризуется чрезвычайно большими значениями коэффициента абсолютного светового выхода. Также установлено, что время затухания флюоресценции является более коротким чем 20 нсек, что служит доказательством их большого превосходства в качестве сцинтилляционных материалов.

[0139] (Сравнительный Пример)

Получен сцинтилляционный монокристалл оксида типа граната, выраженный составом $(PrGd)_3Ga_5O_{12}$ (Pr1%-по загрузке:GGG), описанным в патентном документе 1, который традиционно использовался в качестве сцинтилляционного монокристалла, и были измерены эмиссионные характеристики при возбуждении ультрафиолетовым излучением 285 нм. На фиг.42 приведен график, показывающий кривую эмиссионных характеристик.

[0140] Как следует из фиг.42, в обычно используемом монокристалле, состоящем из оксида типа гадолиний-галлиевого граната, отсутствует или имеет место лишь чрезвычайно малый уровень световой эмиссии, приписываемой флюоресценции в ультрафиолетовом диапазоне. Более конкретно, предполагается, что монокристалл оксида GGG-типа не демонстрирует каких-либо пиков, приписываемых f-f переходу Gd и приписываемых 5d-4f переходу Pr^{3+}. Следовательно, предполагается, что в случае монокристалла оксида GGG-типа трудно достигнуть энергии эмиссии, требуемой для детектирования радиоактивного луча с быстрым откликом.

Формула изобретения

1. Сцинтилляционный монокристалл, выраженный как $(PrRE)_aM_b(O_pF_{1-p})_c$,

где RE обозначает любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb, Lu и La;

M представляет собой любое одно или более веществ, выбранных из Al, Ga, Si, Li, Na, K, Cs, Rb, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Zr, Hf, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pd, Cd и Pb; и

$0<a<10$, $0<b<10$ и $0<c<50$, и p равно 0 или 1.

2. Сцинтилляционный монокристалл по п.1, эмитирующий флюоресценцию, имеющую длину волны от 200 до 350 нм при возбуждении гамма-лучом.

3. Сцинтилляционный монокристалл по п.1, в котором

p=1;

RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu;

M представляет собой по меньшей мере одно вещество, выбранное из Al и Ga; и

a, b, c является любым из 3, 5, 12, 1, 1, 3 и 2, 1, 5.

4. Сцинтилляционный монокристалл по п.3, являющийся сцинтилляционным монокристаллом оксида типа граната, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})_3(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}$,

где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \le x \le 0,02$, а значение y концентрации Ga лежит в диапазоне $0 \le y \le 1$.

5. Сцинтилляционный монокристалл по п.4, являющийся сцинтилляционным монокристаллом оксида типа граната, выраженного как $(Pr_xY_{1-x})_3Al_5O_{12}$ или $(Pr_xLu_{1-x})_3Al_5O_{12}$,

где значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,02$.

6. Сцинтилляционный монокристалл по п.4, являющийся сцинтилляционным монокристаллом оксида типа граната, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})_3Ga_5O_{12}$,

где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,02$.

7. Сцинтилляционный монокристалл по п.3, являющийся сцинтилляционным монокристаллом оксида типа перовскита, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})AlO_3$,

где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, La, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$.

8. Сцинтилляционный монокристалл по п.7, являющийся сцинтилляционным монокристаллом оксида типа перовскита, выраженного как $(Pr_xY_{1-x})AlO_3$, $(Pr_xLa_{1-x})AlO_3$ или $(Pr_xLu_{1-x})AlO_3$:

где значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$.

9. Сцинтилляционный монокристалл по п.3, являющийся сцинтилляционным монокристаллом силикат-оксида, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})_2SiO_5$,

где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, La, Yb, Lu, значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$.

10. Сцинтилляционный монокристалл по п.9, являющийся сцинтилляционным монокристаллом типа силикат-оксида, выраженного как $(Pr_xY_{1-x})_2SiO_5$ или $(Pr_xLu_{1-x})_2SiO_5$,

где значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$.

11. Сцинтилляционный монокристалл редкоземельного оксида, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})_2O_3$,

где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Sc, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$.

12. Сцинтилляционный монокристалл по п.11, являющийся сцинтилляционным монокристаллом редкоземельного оксида, выраженного как $(Pr_xSc_{1-x})_2O_3$ или $(Pr_xLu_{1-x})_2O_3$,

где значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$.

13. Сцинтилляционный монокристалл, выраженный как $(PrRE)_aM_b(O_pF_{1-p})_c$,

где RE обозначает любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb, Lu, La и Ce;

M представляет собой любое одно или более веществ, выбранных из Al, Ga, Si, Li, Na, K, Cs, Rb, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Zr, Hf, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pd, Cd и Pb; и

$0<a<10$, $0<b<10$ и $0<c<50$, и p равно 0.

14. Сцинтилляционный монокристалл по п.1, в котором

p=1;

RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu;

M представляет собой по меньшей мере одно вещество, выбранное из Al, Ga, Mg, Ca, Sr, Sc, Zr и Hf; и

a, b, c составляет 3, 5, 12.

15. Сцинтилляционный монокристалл по п.14, являющийся сцинтилляционным монокристаллом, состоящим из оксида типа граната, выраженного как $(Pr_xY_{1-x})_3(Al_{1-y}Sc_y)_5O_{12}$ или $(Pr_xLu_{1-x})_3(Al_{1-y}Sc_y)_5O_{12}$:

где значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$, а значение y концентрации Sc лежит в диапазоне $0 \leq y \leq 0,4$.

16. Сцинтилляционный монокристалл по п.14, являющийся сцинтилляционным монокристаллом, состоящим из оксида типа граната, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})_3(M^1{}_yM^2{}_{1-2y}M^3{}_y)_5O_{12}$,

где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, M^1 представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Mg, Ca и Sr, M^2 представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Al, Ga и Sc, M^3 представляет собой одно вещество или два или более веществ, выбранных из Zr и Hf, значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$, а концентрация y лежит в диапазоне $0 \leq y \leq 0,5$.

17. Сцинтилляционный монокристалл, состоящий из редкоземельного оксида, выраженного как $Pr_xRE_{1-x}VO_4$:

где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$.

18. Сцинтилляционный монокристалл, состоящий из редкоземельного оксида, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})RE'O_3$,

где RE и RE', отличаясь друг от друга, представляют собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из La, Gd, Y, Sc, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$.

19. Сцинтилляционный монокристалл, состоящий из редкоземельного оксида, выраженного как $(Pr_xRE_{1-x})_2Si_2O_7$:

где RE представляет собой любое одно вещество или два или более веществ, выбранных из Y, Sc, Yb и Lu, и значение x концентрации Pr лежит в диапазоне $0,0001 \leq x < 0,3$.

20. Детектор излучения, имеющий сцинтиллятор, состоящий из сцинтилляционного монокристалла по любому из пп.3-12, и сконфигурированный с блоком детектирования излучения, детектирующим радиоактивный луч, и объединенным с ним светопринимающим блоком, воспринимающим флюоресценцию, испускаемую в результате детектирования радиоактивного луча упомянутым блоком детектирования излучения.

21. Устройство радиационного обследования, содержащее детектор излучения по п.20.

22. Устройство радиационного обследования по п.21, в котором время затухания по меньшей мере одной компоненты флюоресценции, эмитированной упомянутым сцинтилляционным монокристаллом, составляет от 1 до 300 нс при комнатной температуре.

23. Устройство радиационного обследования по п.21, представляющее собой устройство позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), применяемое в устройстве обработки медицинских изображений.

24. Устройство радиационного обследования, применяемое в устройстве обработки

медицинских изображений, по п.23, в котором упомянутая ПЭТ представляет собой двухмерную ПЭТ, трехмерную ПЭТ, времяпролетную (TOF) ПЭТ, ПЭТ с определением глубины взаимодействия (DOI) или их комбинации.

25. Устройство радиационного обследования по п.24, причем это устройство радиационного обследования, применяемое в упомянутом устройстве обработки медицинских изображений, представляет собой любое из автономного устройства, устройства магнитной резонансной томографии (МРТ), устройства компьютерной томографии (КТ) и однофотонной компьютерной томографии (ОФЭКТ) или их комбинацию.

26. Устройство радиационного обследования, применяемое для неразрушающего обследования, имеющее детектор излучения по п.20, представляющее собой любое из устройства рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) и радиографического устройства для обследования просвечиванием радиоактивным лучом или их комбинацию.

27. Детектор излучения, имеющий сцинтиллятор, состоящий из сцинтилляционного монокристалла по п.13, и сконфигурированный с блоком детектирования излучения, детектирующим радиоактивный луч, и объединенным с ним светопринимающим блоком, воспринимающим флюоресценцию, испускаемую в результате детектирования радиоактивного луча упомянутым блоком детектирования излучения.

28. Устройство радиационного обследования, содержащее детектор излучения по п.27.

29. Устройство радиационного обследования по п.28, в котором время затухания по меньшей мере одной компоненты флюоресценции, эмитированной упомянутым сцинтилляционным монокристаллом, составляет от 1 до 300 нс при комнатной температуре.

30. Устройство радиационного обследования по п.28, представляющее собой устройство позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ).

31. Устройство радиационного обследования, применяемое в устройстве обработки медицинских изображений, по п.30, в котором упомянутая ПЭТ представляет собой двухмерную ПЭТ, трехмерную ПЭТ, времяпролетную (TOF) ПЭТ, ПЭТ с определением глубины взаимодействия (DOI) или их комбинации.

32. Устройство радиационного обследования по п.28, причем это устройство радиационного обследования, применяемое в устройстве обработки медицинских изображений, представляет собой любое из автономного устройства, устройства магнитной резонансной томографии (МРТ), устройства компьютерной томографии (КТ) и однофотонной компьютерной томографии (ОФЭКТ) или их комбинацию.

33. Детектор излучения, имеющий сцинтиллятор, состоящий из сцинтилляционного монокристалла по любому из пп.14-19, и сконфигурированный с блоком детектирования излучения, детектирующим радиоактивный луч, и объединенным с ним светопринимающим блоком, воспринимающим флюоресценцию, испускаемую в результате детектирования радиоактивного луча упомянутым блоком детектирования излучения.

34. Устройство радиационного обследования, содержащее детектор излучения по п.33.

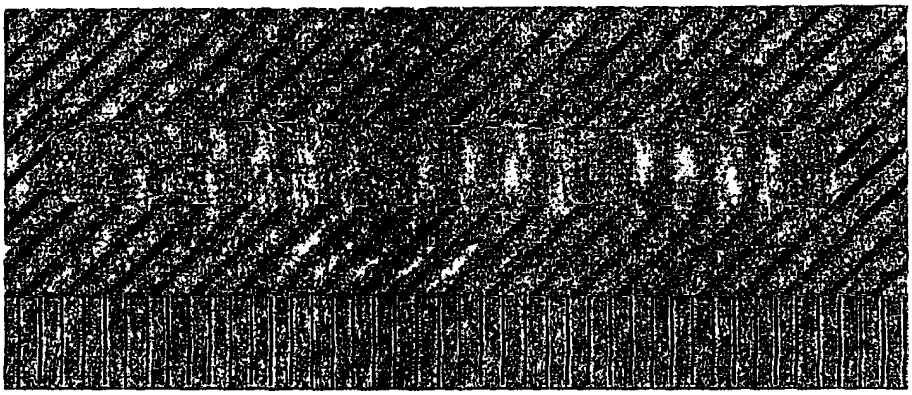
35. Устройство радиационного обследования по п.34, в котором время затухания по меньшей мере одной компоненты флюоресценции, эмитированной упомянутым сцинтилляционным монокристаллом, составляет от 1 до 300 нс при комнатной температуре.

36. Устройство радиационного обследования по п.34, представляющее собой устройство позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), применяемое в устройстве обработки медицинских изображений.

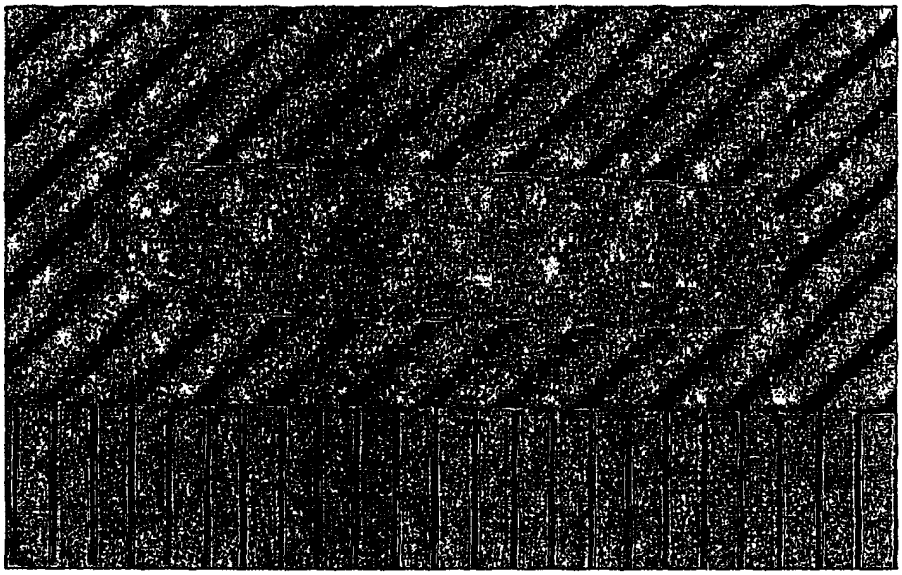
37. Устройство радиационного обследования, применяемое в устройстве обработки медицинских изображений, по п.36, в котором упомянутая ПЭТ представляет собой двухмерную ПЭТ, трехмерную ПЭТ, времяпролетную (TOF) ПЭТ, ПЭТ с определением глубины взаимодействия (DOI) или их комбинации.

38. Устройство радиационного обследования по п.37, причем это устройство радиационного обследования, применяемое в упомянутом устройстве обработки медицинских изображений, представляет собой любое из автономного устройства, устройства магнитной резонансной томографии (МРТ), устройства компьютерной томографии (КГ) и однофотонной компьютерной томографии (ОФЭКТ) или их комбинацию.

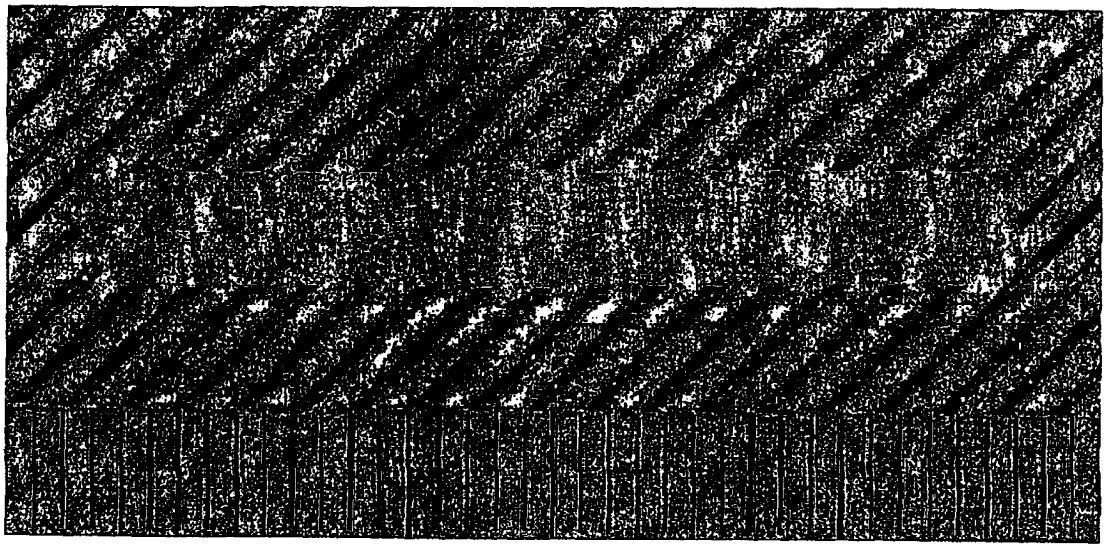
39. Устройство радиационного обследования, применяемое для неразрушающего обследования, содержащее детектор излучения по п.33, представляющее собой любое из устройства рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) и радиографического устройства для обследования просвечиванием радиоактивным лучом или их комбинацию.



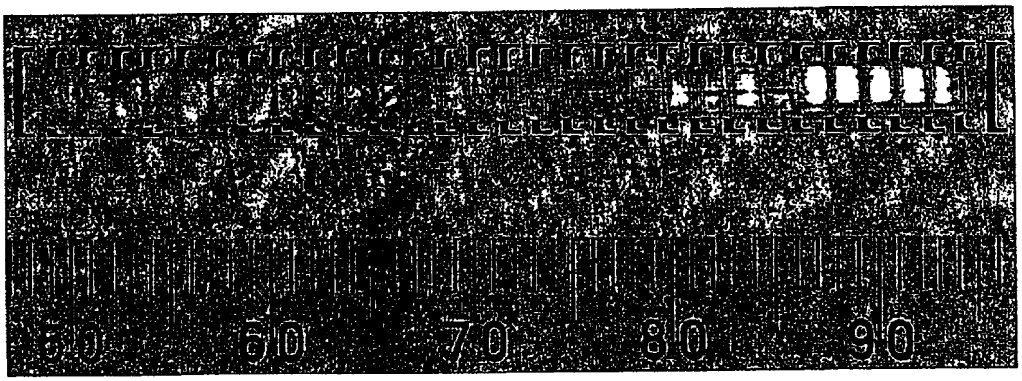
ФИГ.1



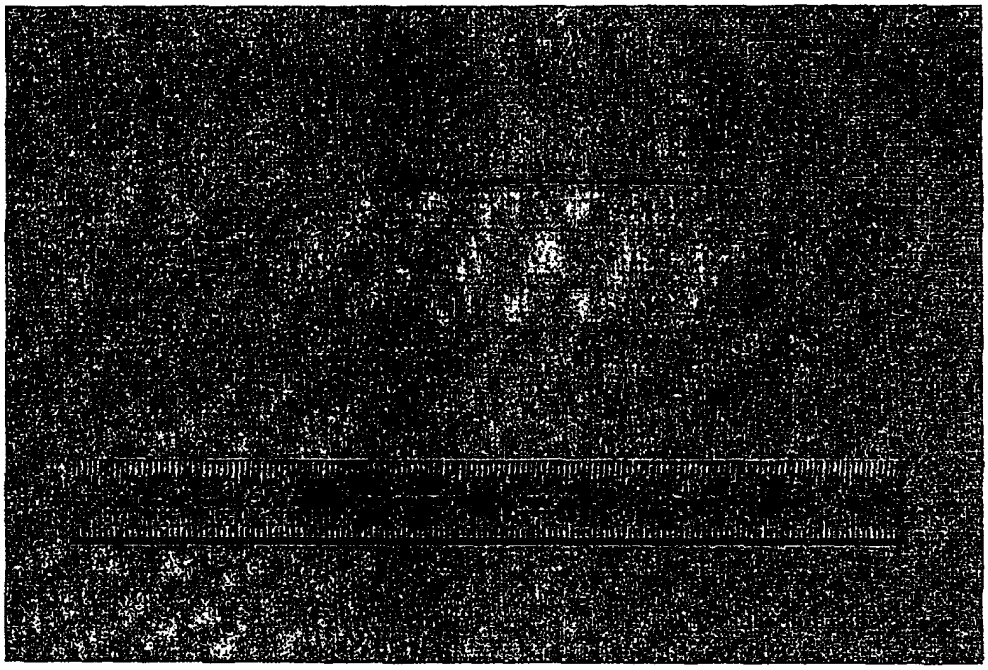
ФИГ.2



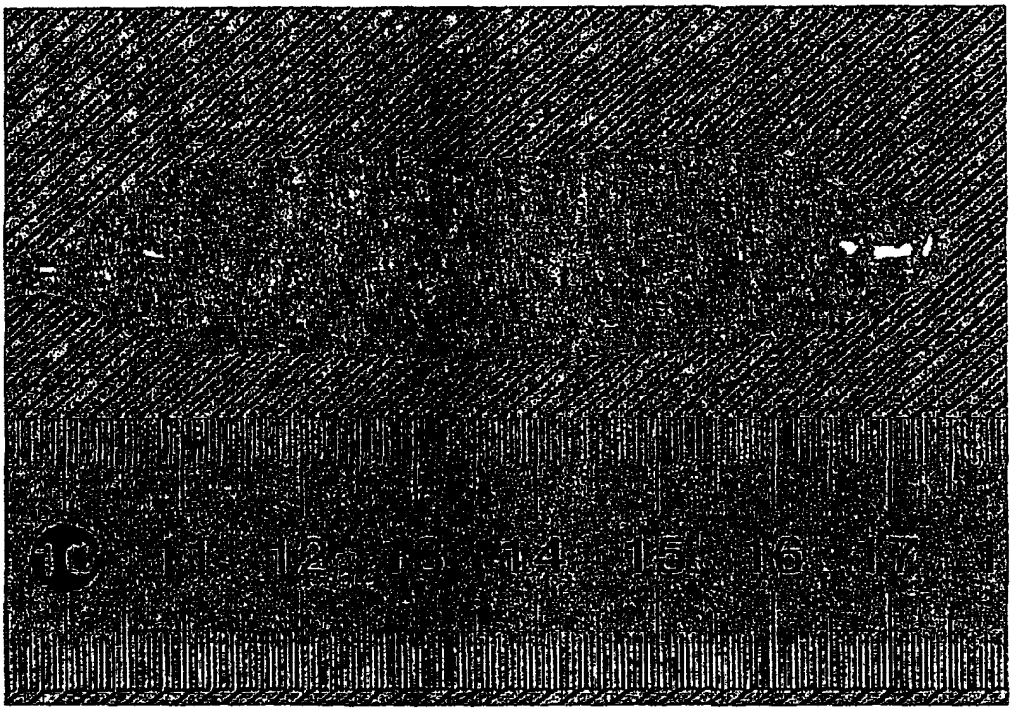
ФИГ.3



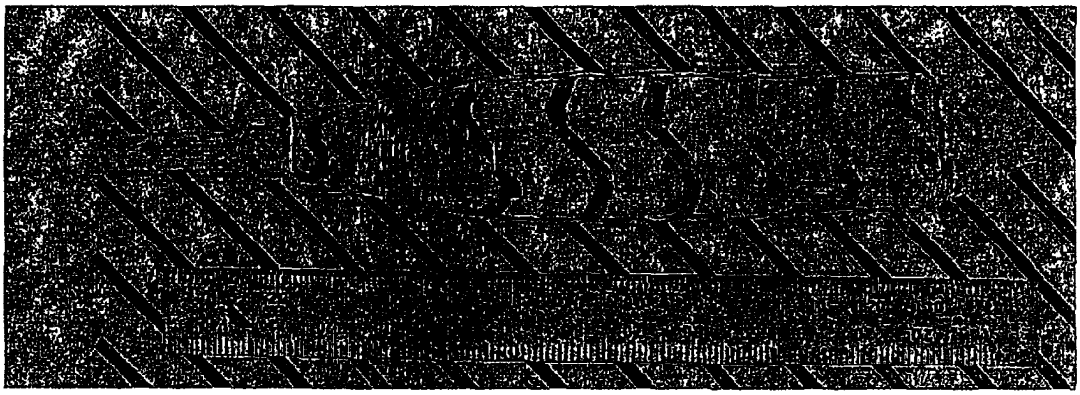
ФИГ.4



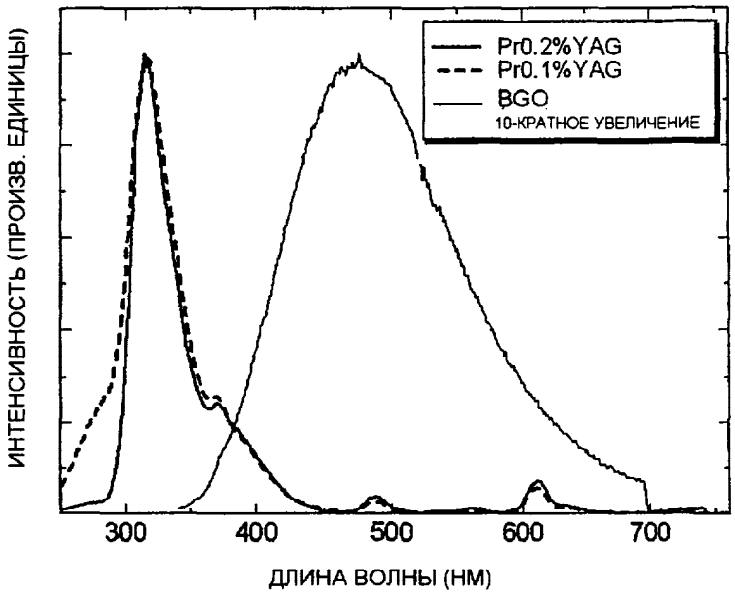
ФИГ.5



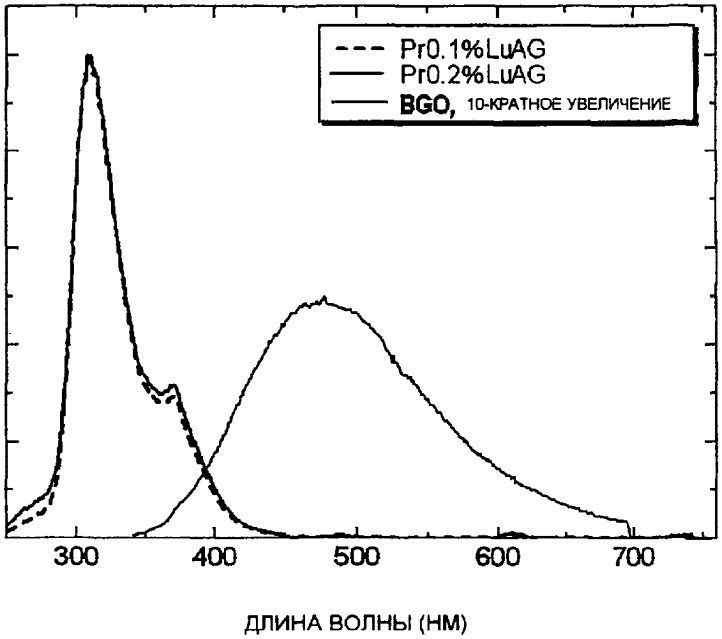
ФИГ.6



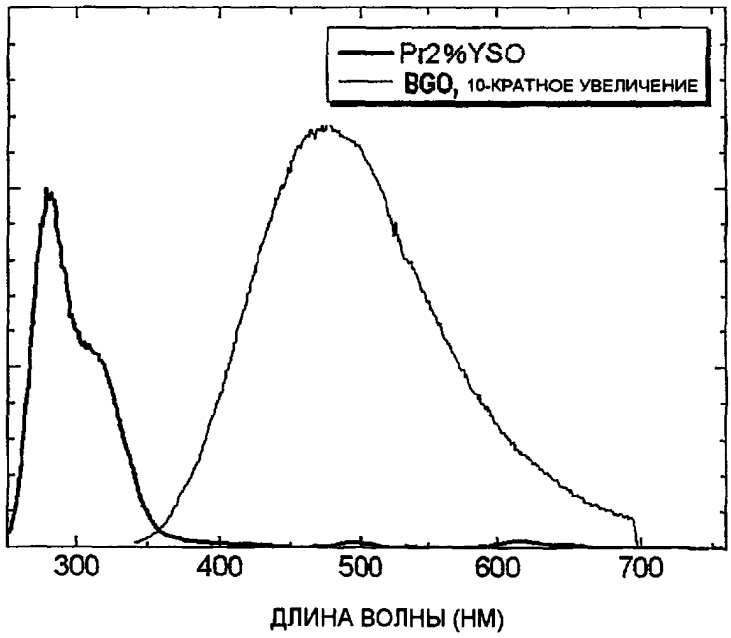
ФИГ.7



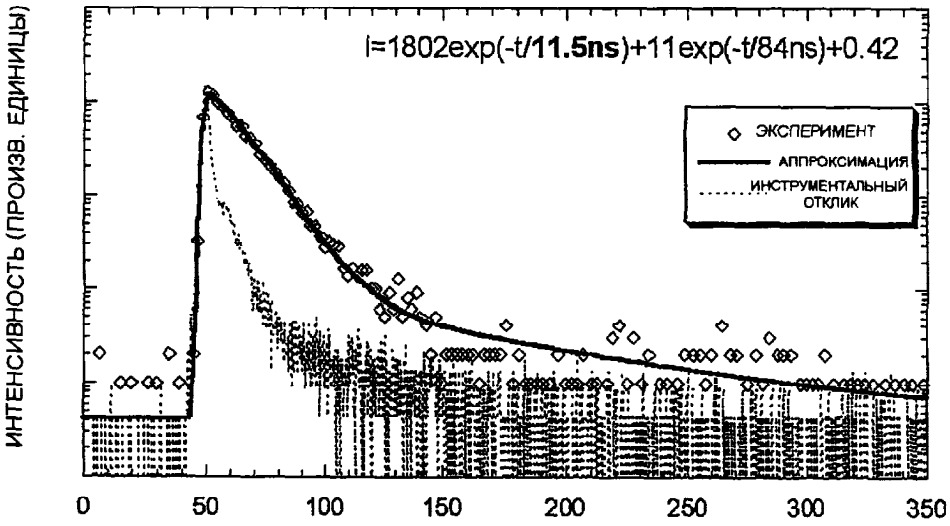
ФИГ.8



ФИГ.9



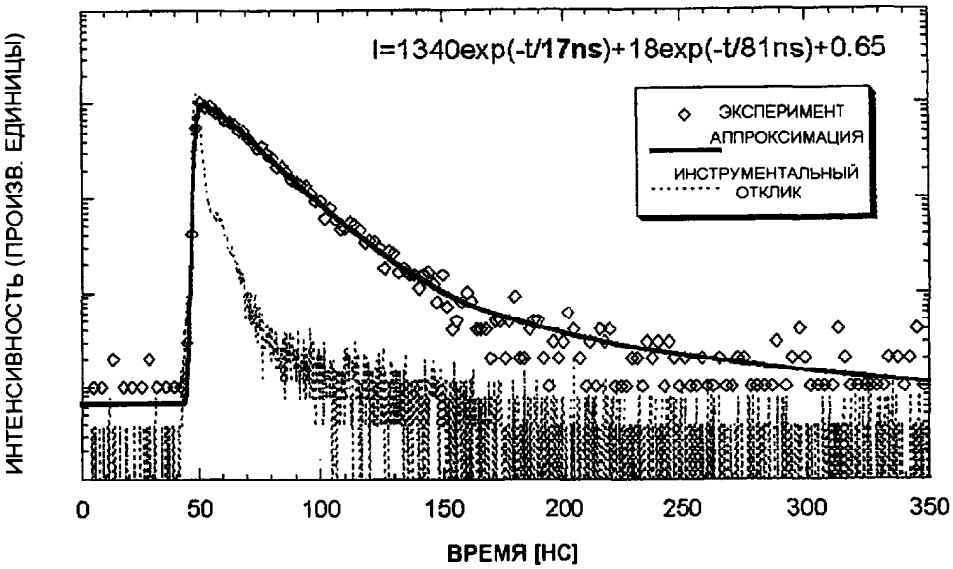
ФИГ.10



ЗАТУХАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ YAG: Pr(0,2%)

ВОЗБУЖДЕНИЕ 280 НМ ; ИСПУСКАНИЕ 310 НМ

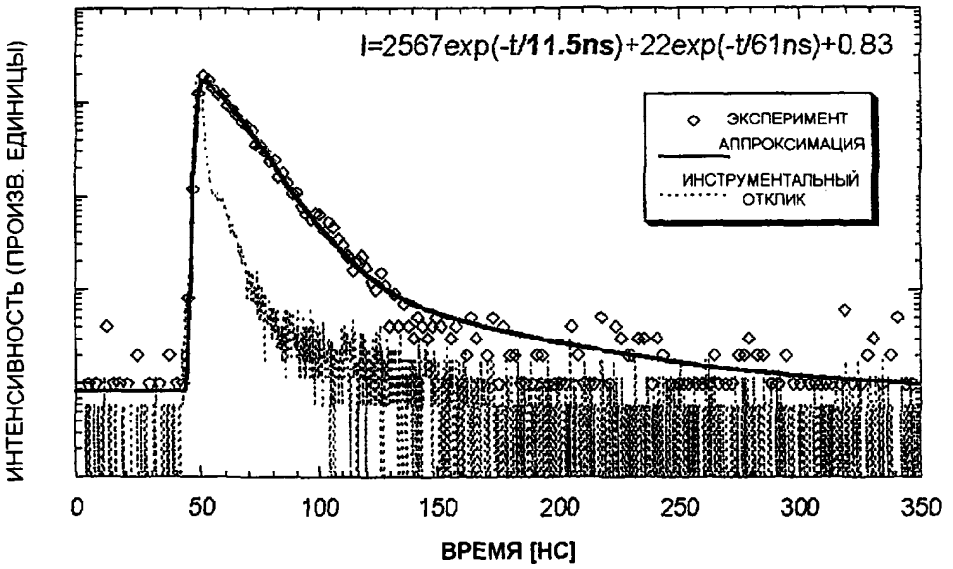
ФИГ.11



ЗАТУХАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ LuAG:PR(0,2%)

ВОЗБУЖДЕНИЕ 280 НМ ; ИСПУСКАНИЕ 310 НМ

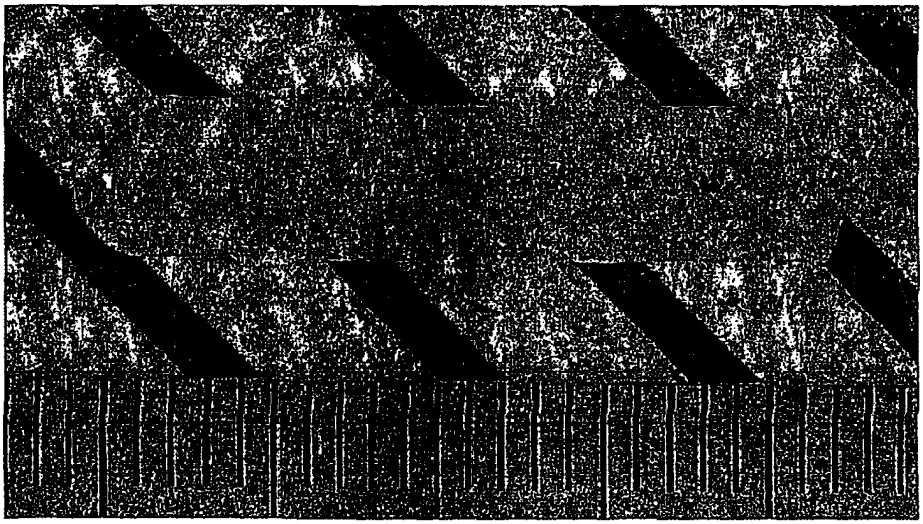
ФИГ.12



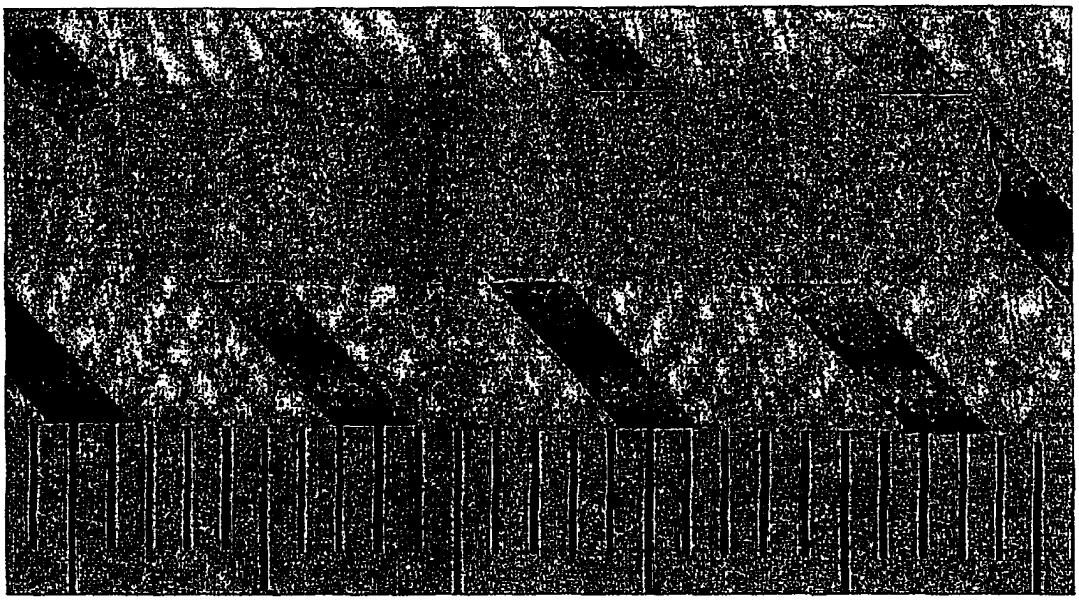
ЗАТУХАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ YSO:Pr(0,2%)

ВОЗБУЖДЕНИЕ 250 НМ; ИСПУСКАНИЕ 280 НМ

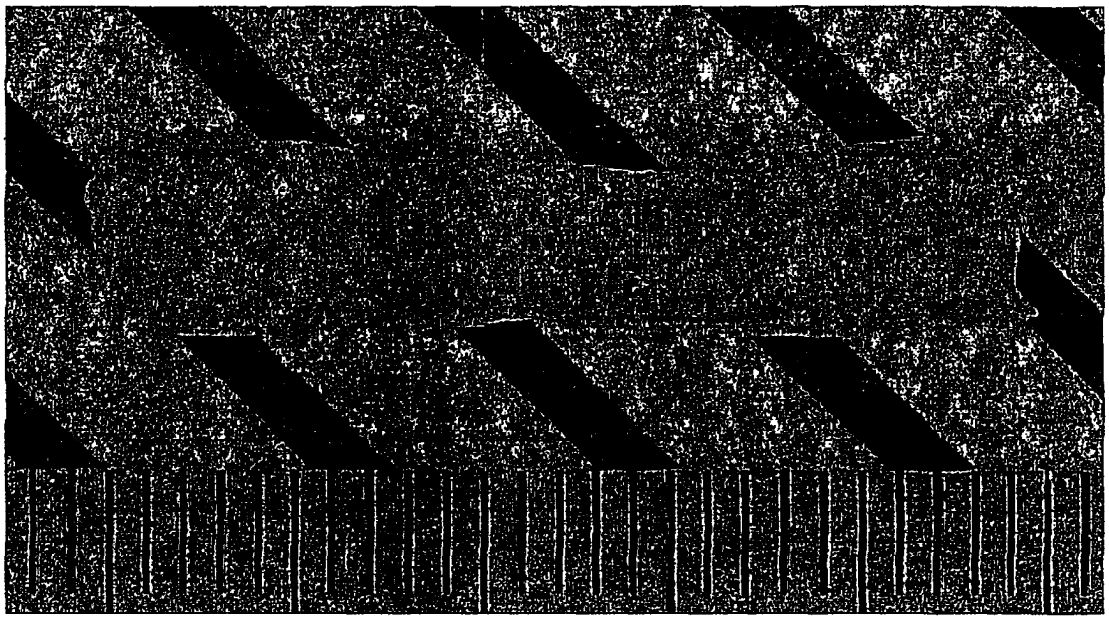
ФИГ.13



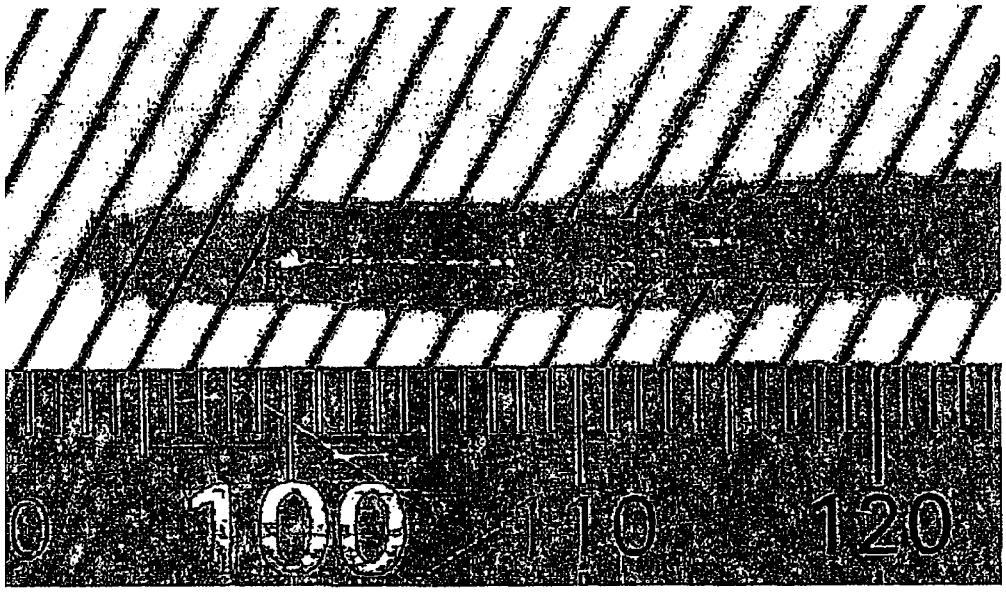
ФИГ.14



ФИГ.15



ФИГ.16



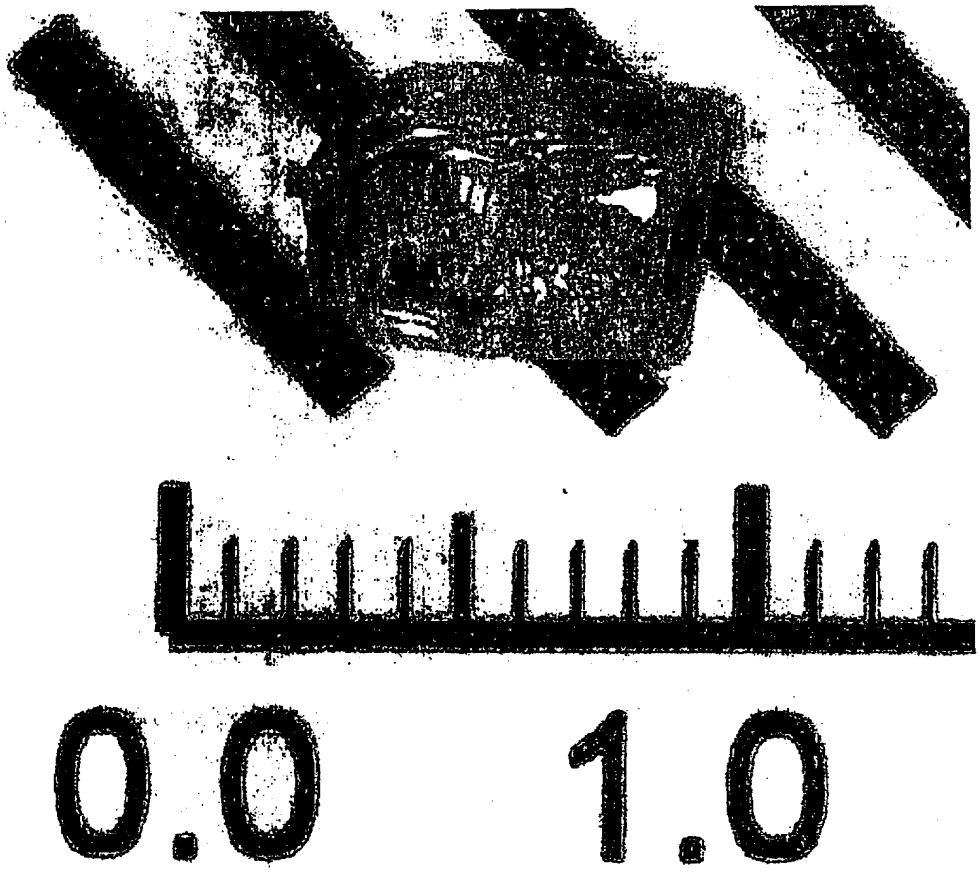
ФИГ.17



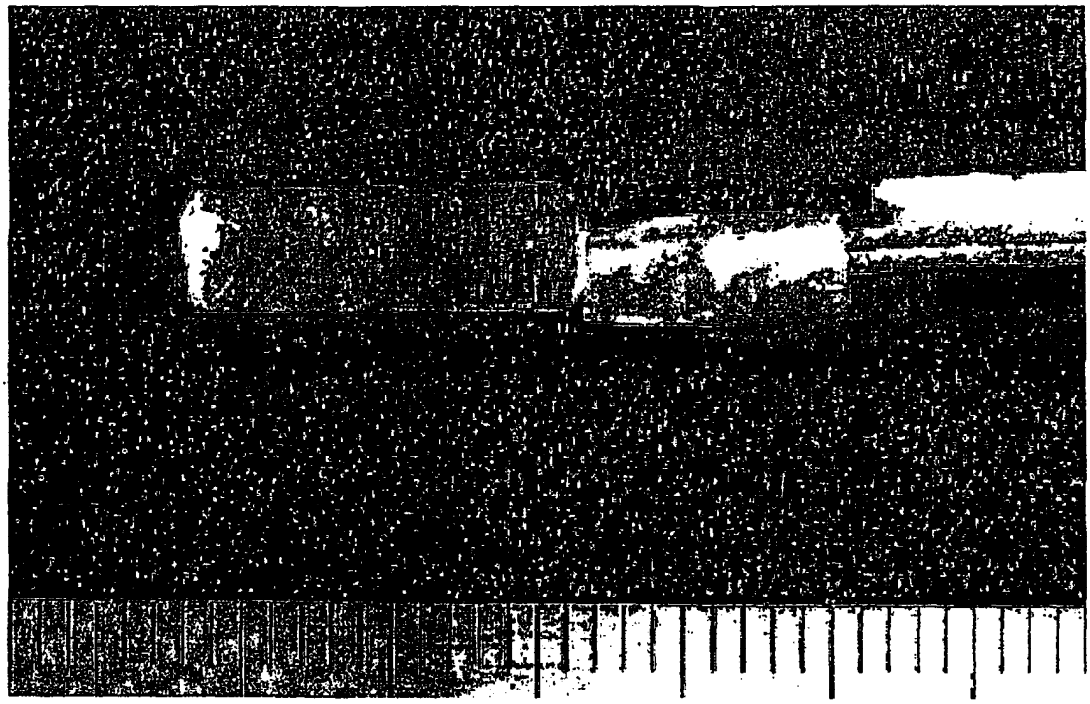
ФИГ.18



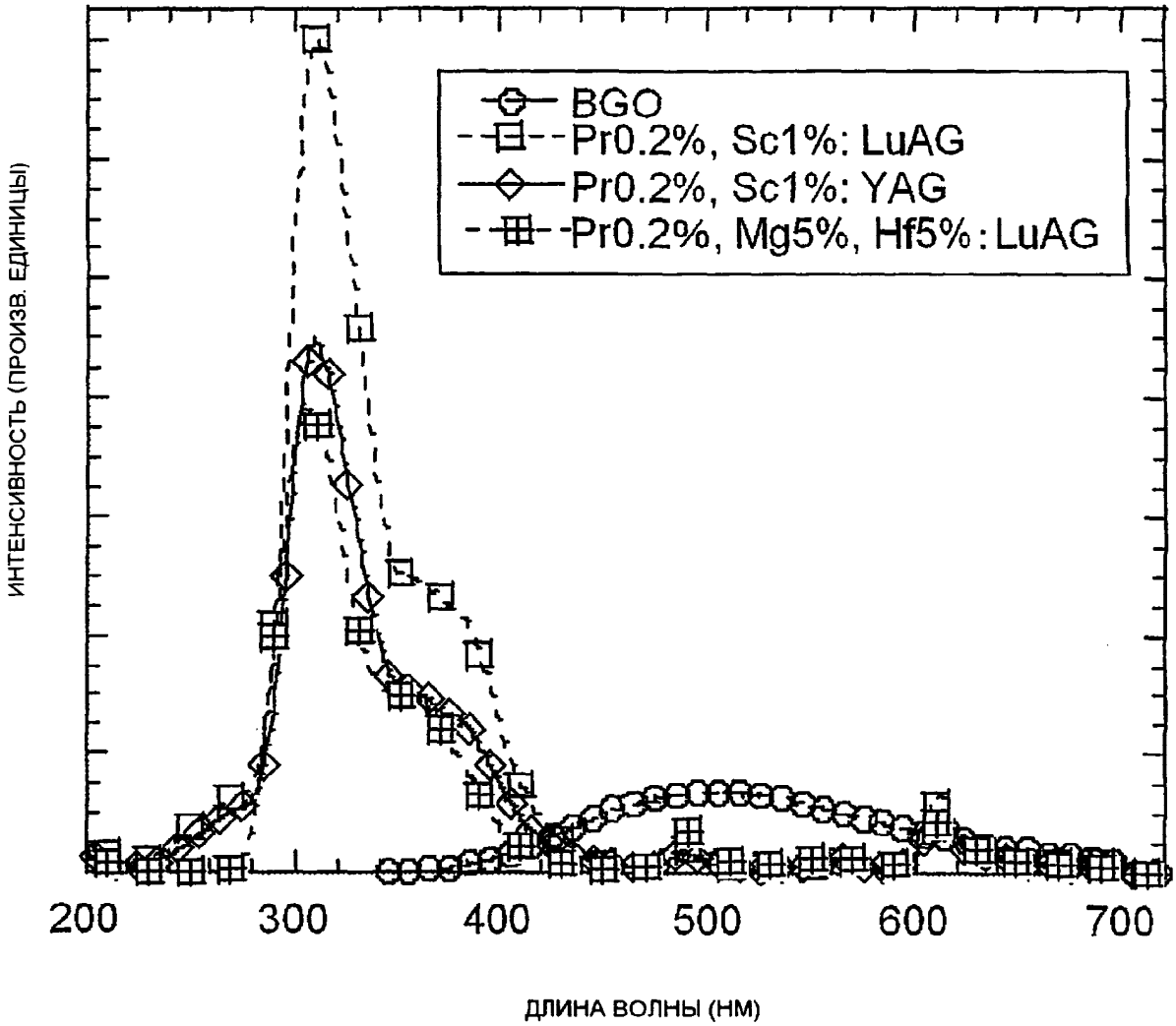
ФИГ.19



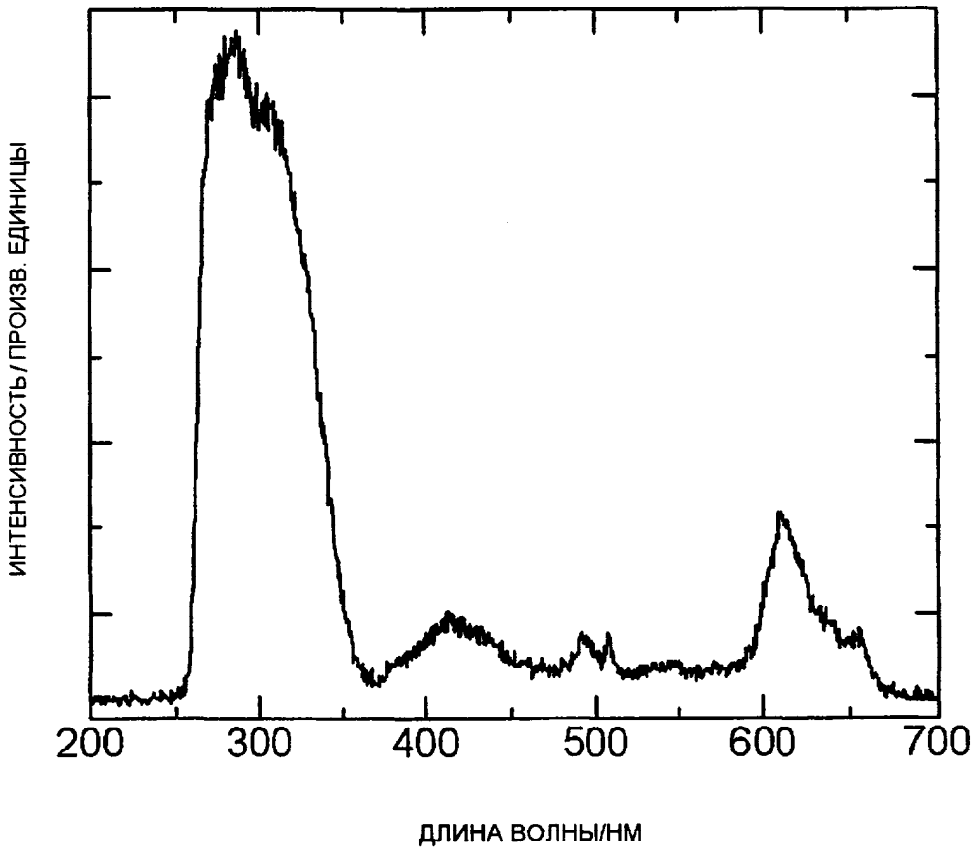
ФИГ.20



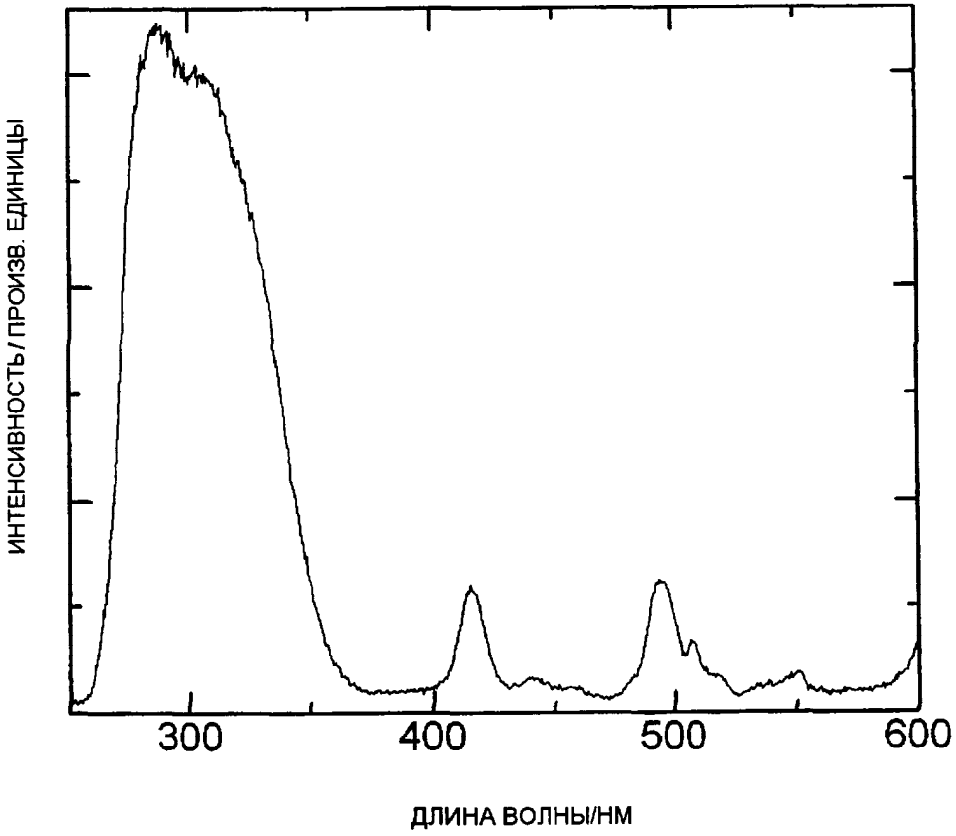
ФИГ.21


BGO
Pr0.2%, Sc1%: LuAG
Pr0.2%, Sc1%: YAG
Pr0.2%, Mg5%, Hf5%: LuAG
ИНТЕНСИВНОСТЬ (ПРОИЗВ. ЕДИНИЦЫ)
200
300
400
500
600
700
ДЛИНА ВОЛНЫ (НМ)

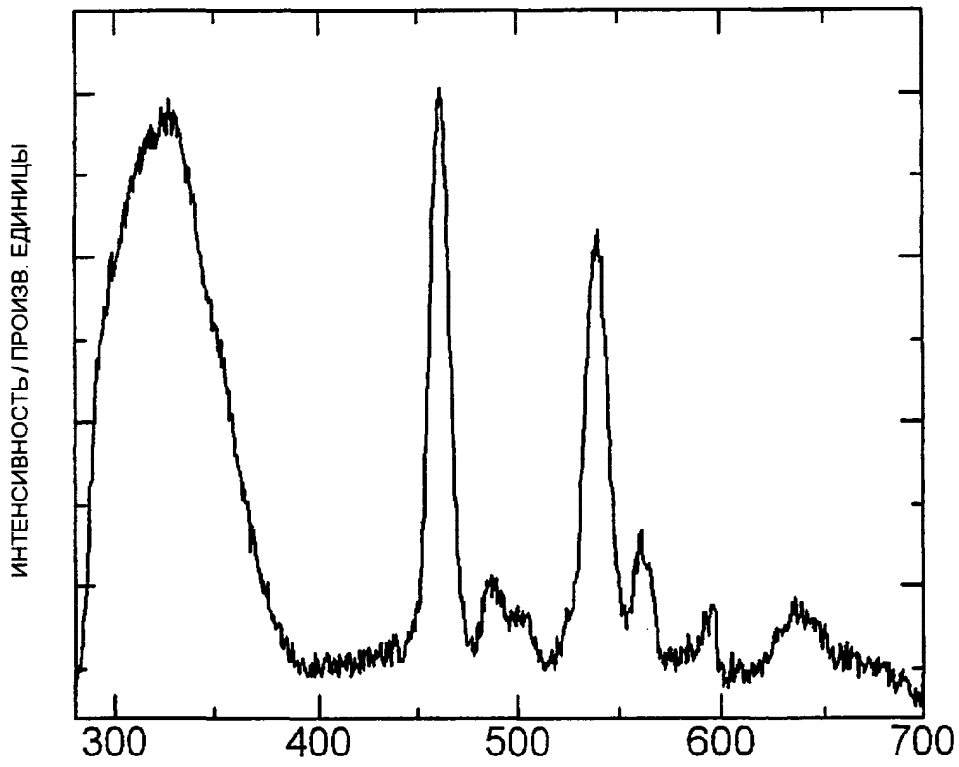
ФИГ.22


ИНТЕНСИВНОСТЬ / ПРОИЗВ. ЕДИНИЦЫ
200
300
400
500
600
700
ДЛИНА ВОЛНЫ/НМ

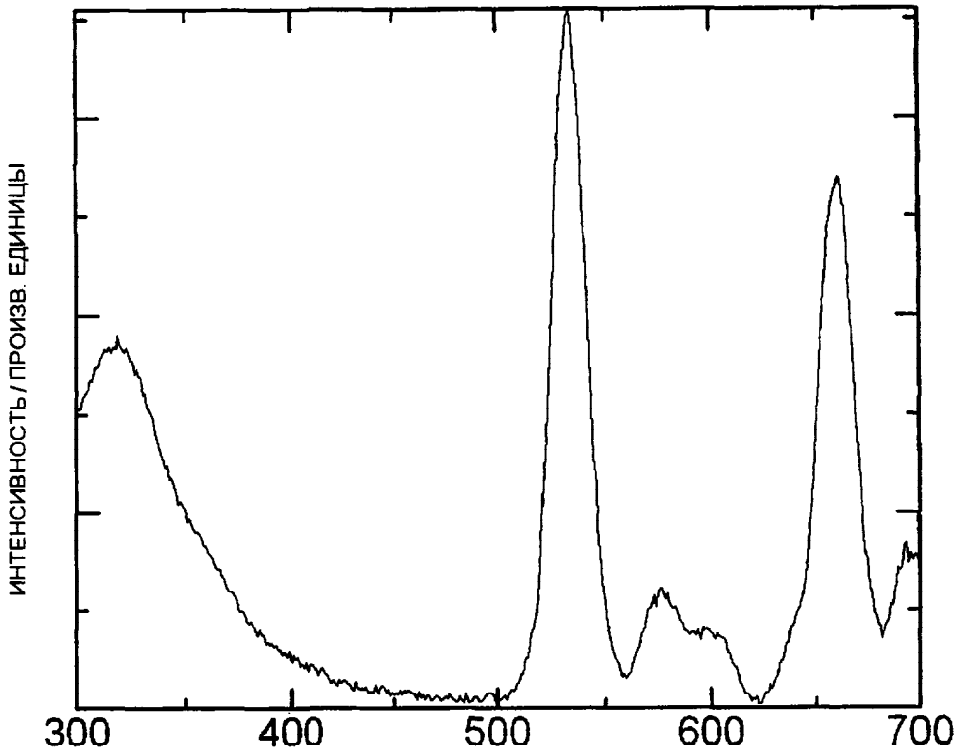
ФИГ.23


ИНТЕНСИВНОСТЬ / ПРОИЗВ. ЕДИНИЦЫ
300
400
500
600
ДЛИНА ВОЛНЫ/НМ

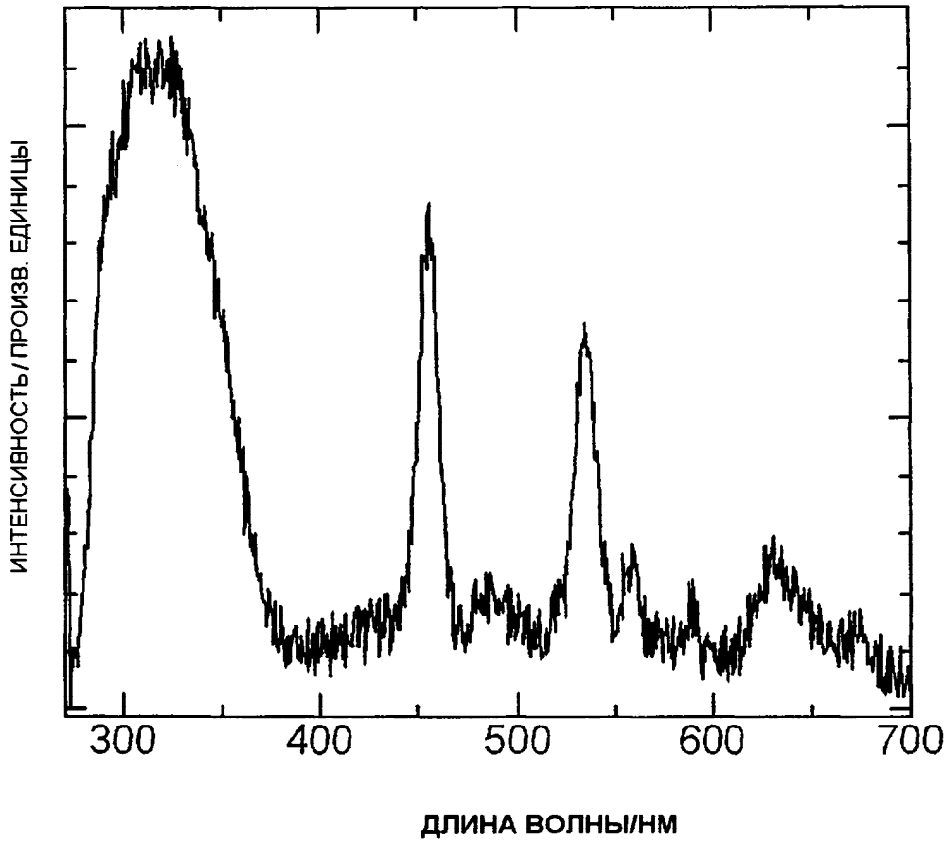
ФИГ.24


ИНТЕНСИВНОСТЬ / ПРОИЗВ. ЕДИНИЦЫ
300
400
500
600
700
ДЛИНА ВОЛНЫ/НМ

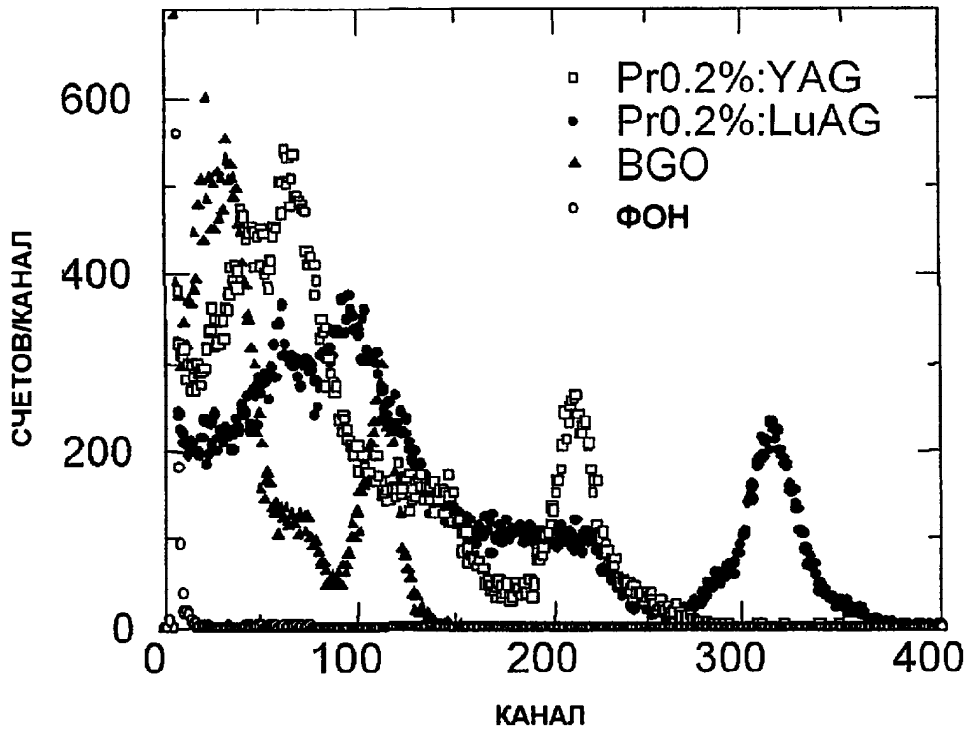
ФИГ.25


ИНТЕНСИВНОСТЬ / ПРОИЗВ. ЕДИНИЦЫ
300
400
500
600
700
ДЛИНА ВОЛНЫ/НМ

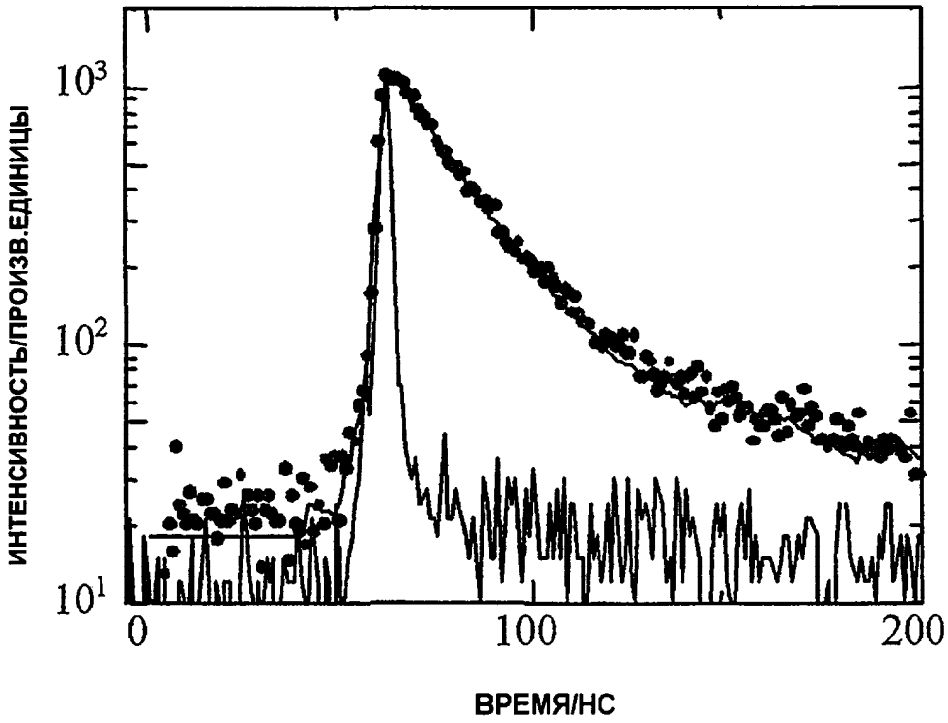
ФИГ.26


ИНТЕНСИВНОСТЬ/ПРОИЗВ. ЕДИНИЦЫ
300
400
500
600
700
ДЛИНА ВОЛНЫ/НМ

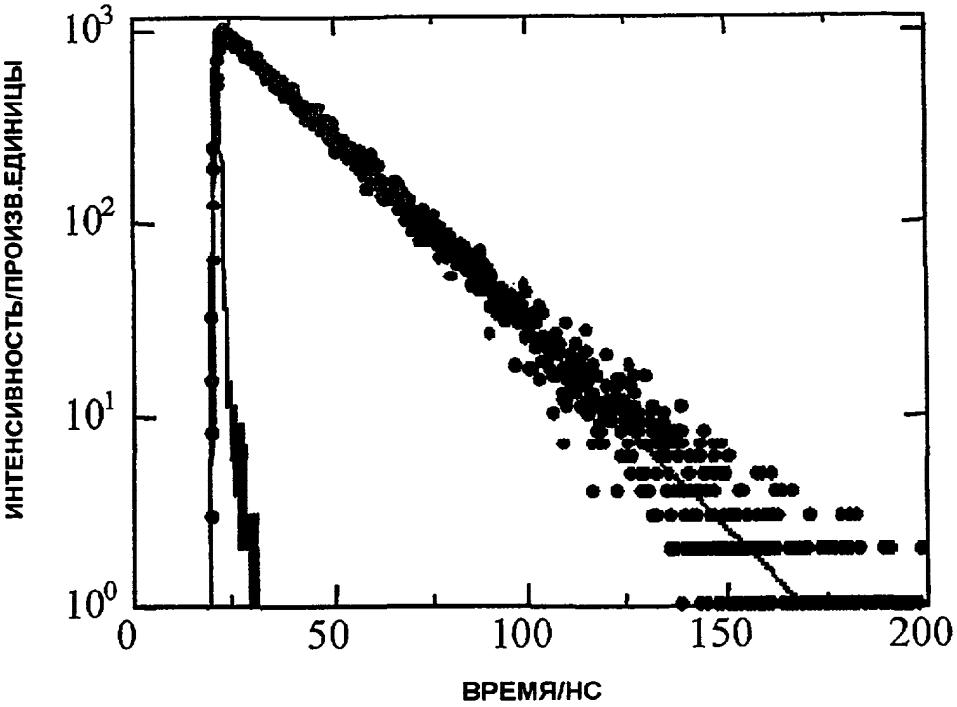
ФИГ.27


Pr0.2%:YAG
Pr0.2%:LuAG
BGO
ФОН
СЧЕТОВ/КАНАЛ
600
400
200
0
0
100
200
300
400
КАНАЛ

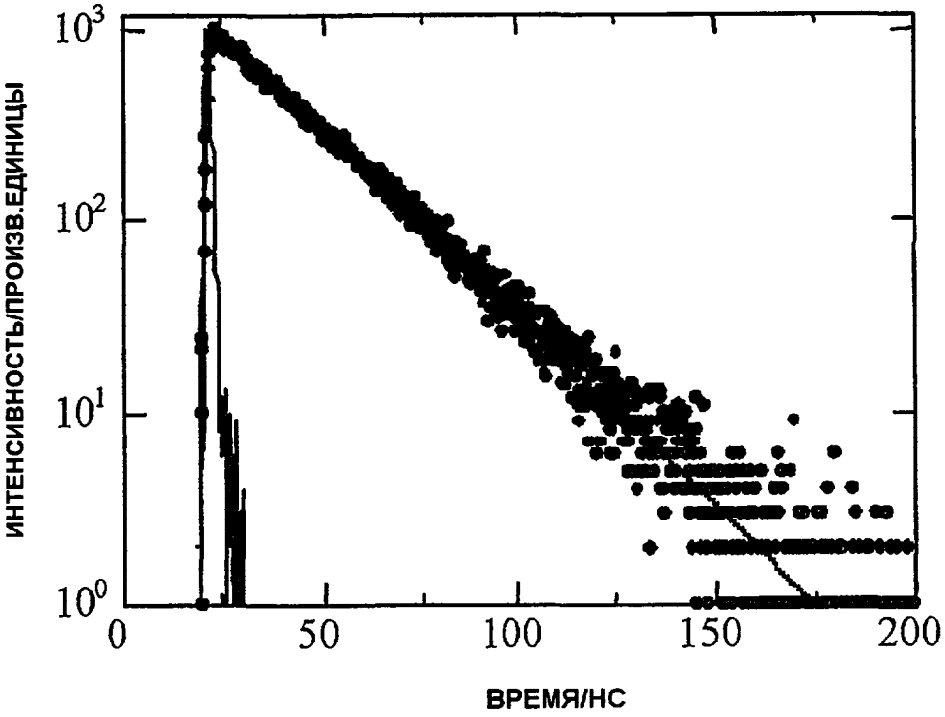
ФИГ.28


ИНТЕНСИВНОСТЬ/ПРОИЗВ.ЕДИНИЦЫ
10^3
10^2
10^1
0
100
200
ВРЕМЯ/НС

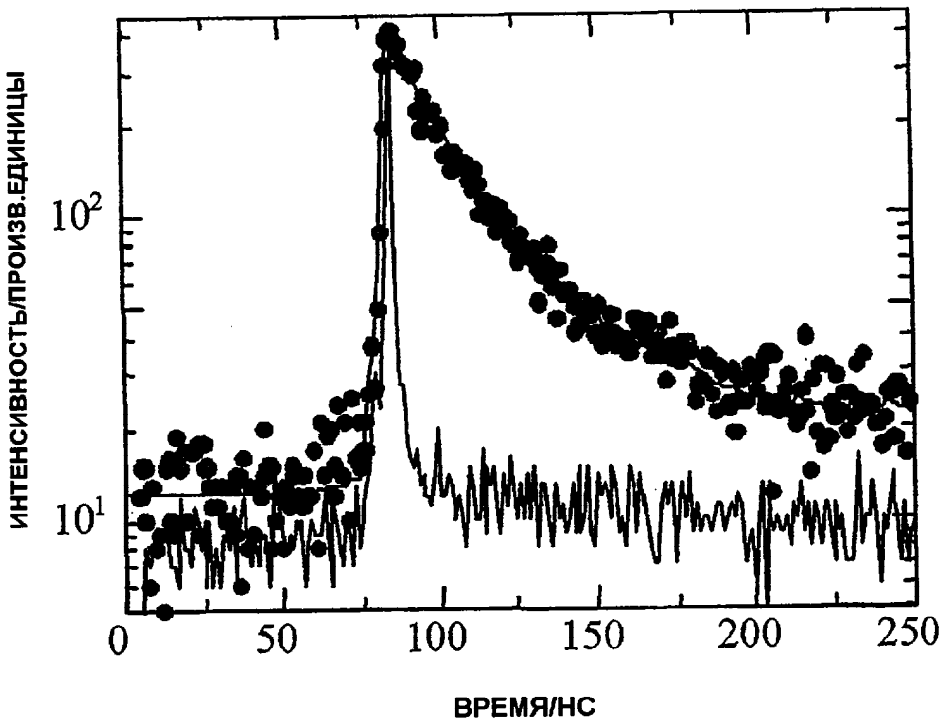
ФИГ.29


ИНТЕНСИВНОСТЬ/ПРОИЗВ.ЕДИНИЦЫ
10^3
10^2
10^1
10^0
0
50
100
150
200
ВРЕМЯ/НС

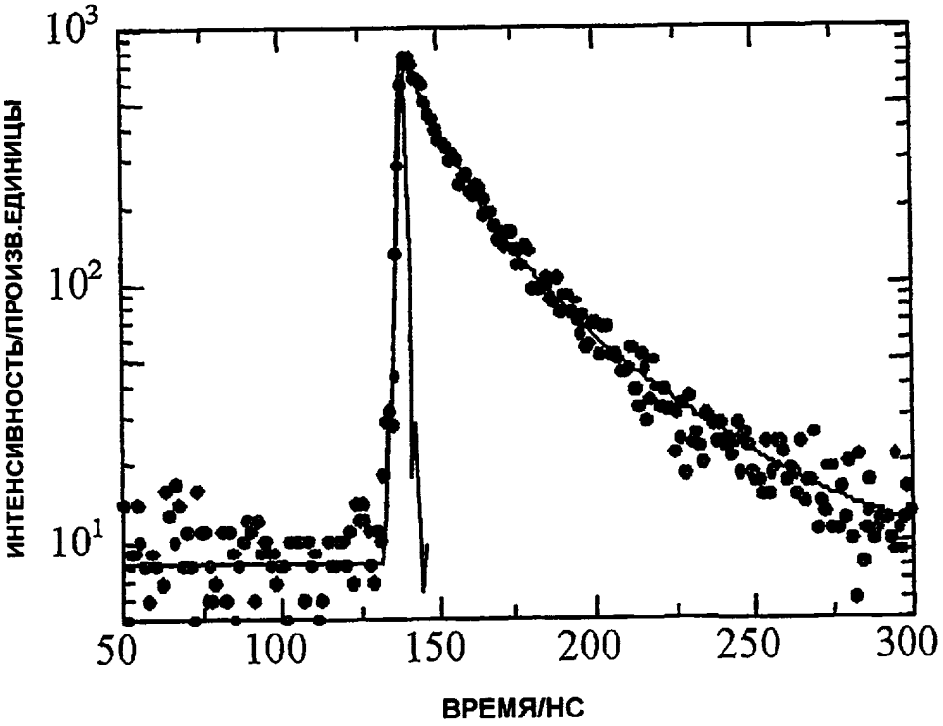
ФИГ.30


ИНТЕНСИВНОСТЬ/ПРОИЗВ.ЕДИНИЦЫ
10^3
10^2
10^1
10^0
0
50
100
150
200
ВРЕМЯ/НС

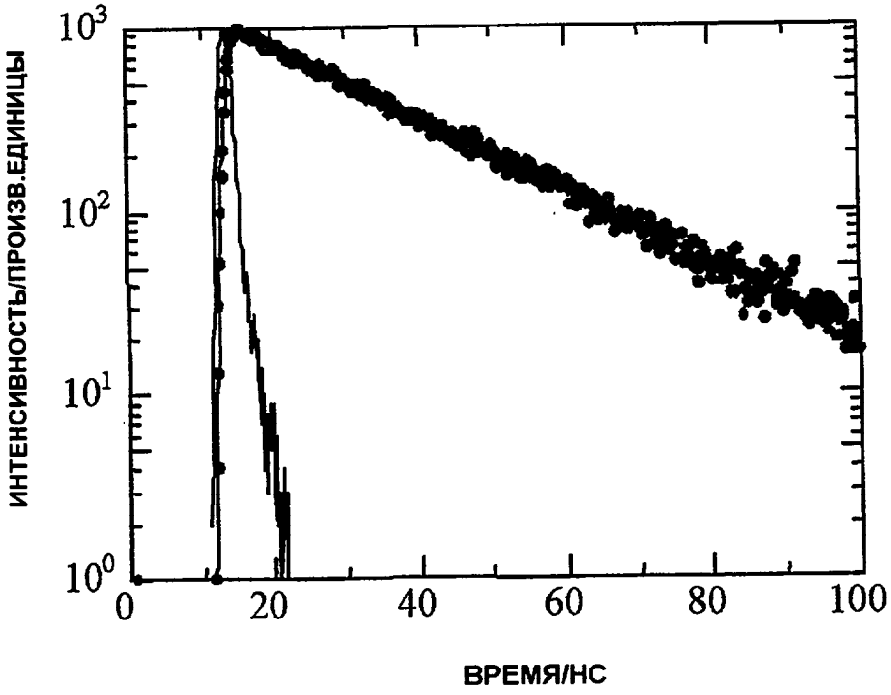
ФИГ.31


ИНТЕНСИВНОСТЬ/ПРОИЗВ.ЕДИНИЦЫ
10^2
10^1
0
50
100
150
200
250
ВРЕМЯ/НС

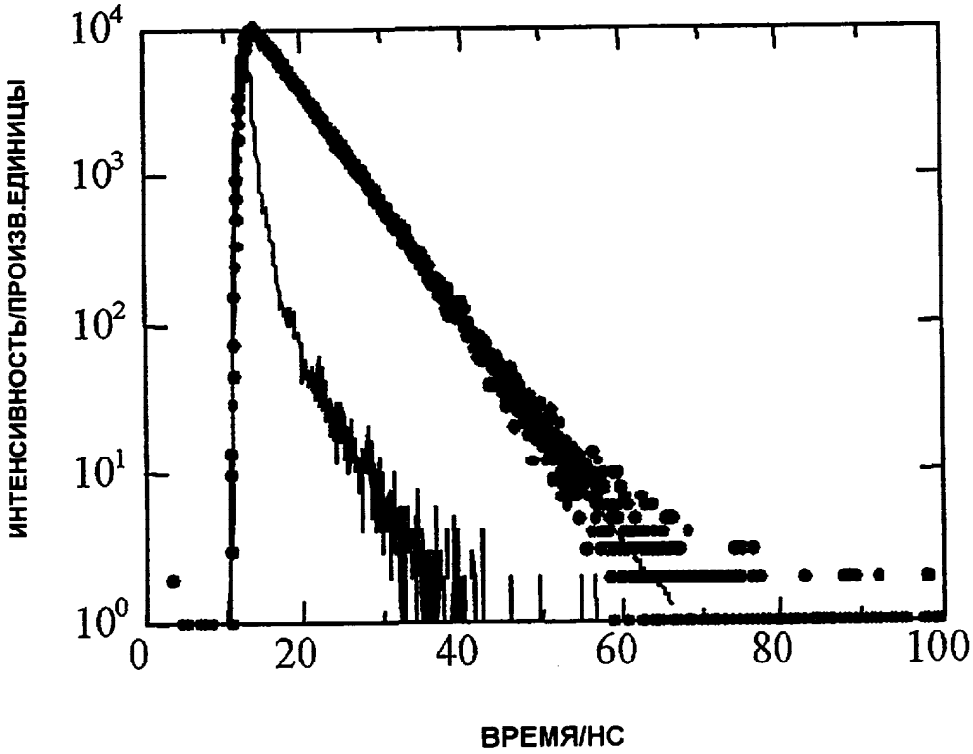
ФИГ.32


ИНТЕНСИВНОСТЬ/ПРОИЗВ.ЕДИНИЦЫ
10^3
10^2
10^1
50
100
150
200
250
300
ВРЕМЯ/НС

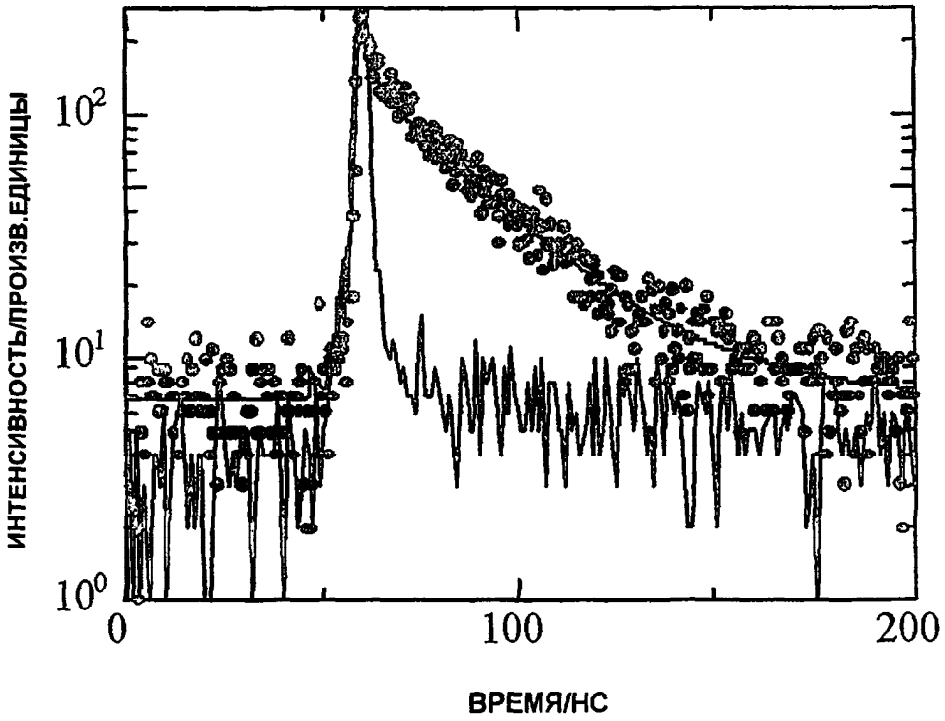
ФИГ.33


ИНТЕНСИВНОСТЬ/ПРОИЗВ.ЕДИНИЦЫ
10^3
10^2
10^1
10^0
0
20
40
60
80
100
ВРЕМЯ/НС

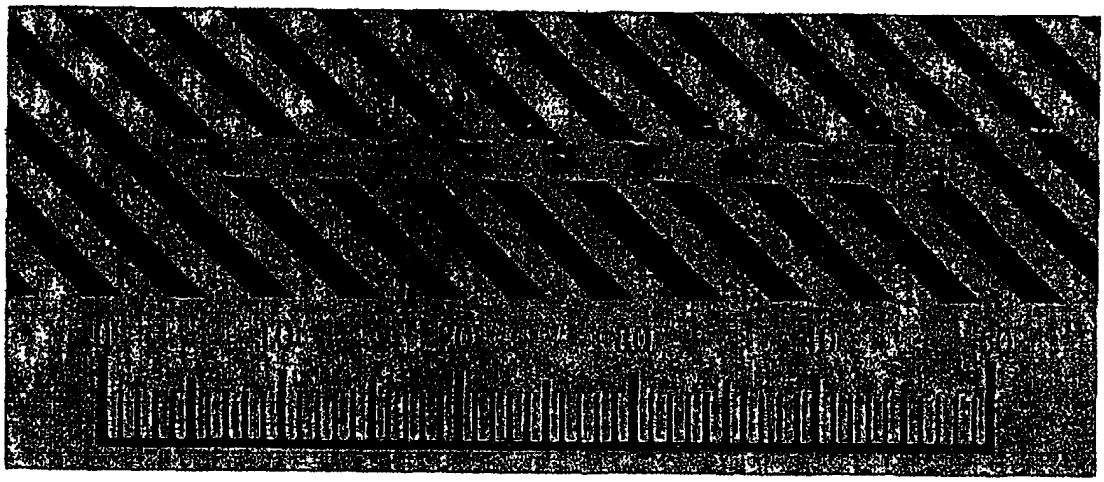
ФИГ.34


ИНТЕНСИВНОСТЬ/ПРОИЗВ.ЕДИНИЦЫ
10^4
10^3
10^2
10^1
10^0
0
20
40
60
80
100
ВРЕМЯ/НС

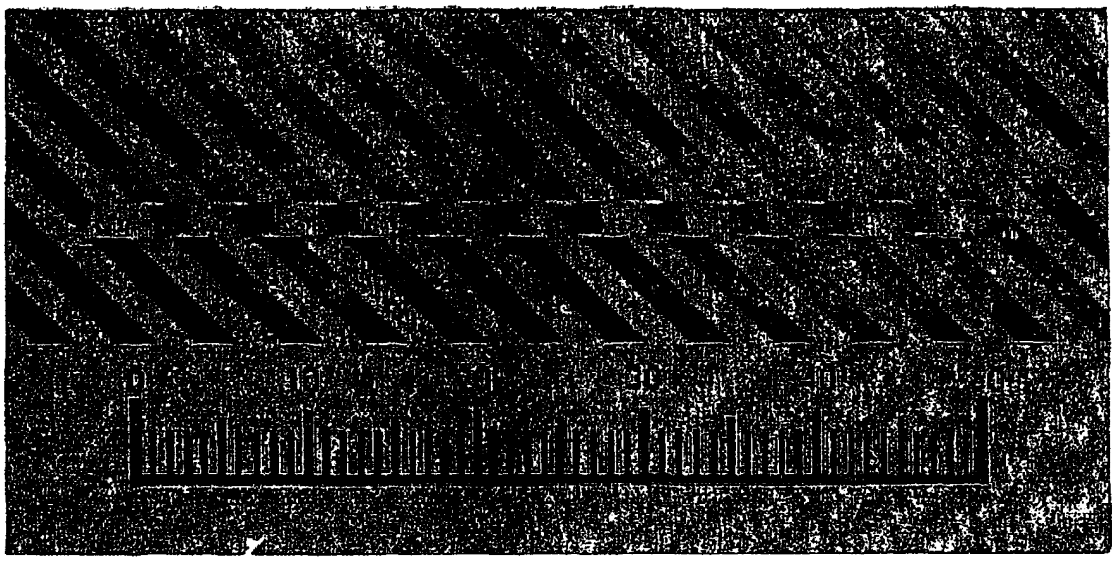
ФИГ.35


ИНТЕНСИВНОСТЬ/ПРОИЗВ.ЕДИНИЦЫ
10^2
10^1
10^0
0
100
200
ВРЕМЯ/НС

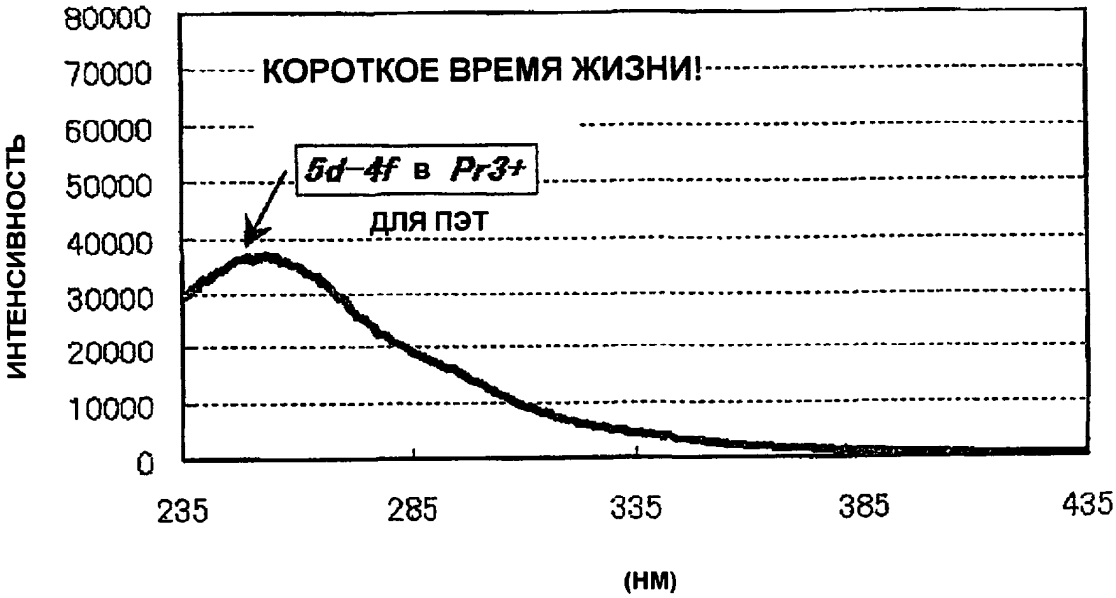
ФИГ.36



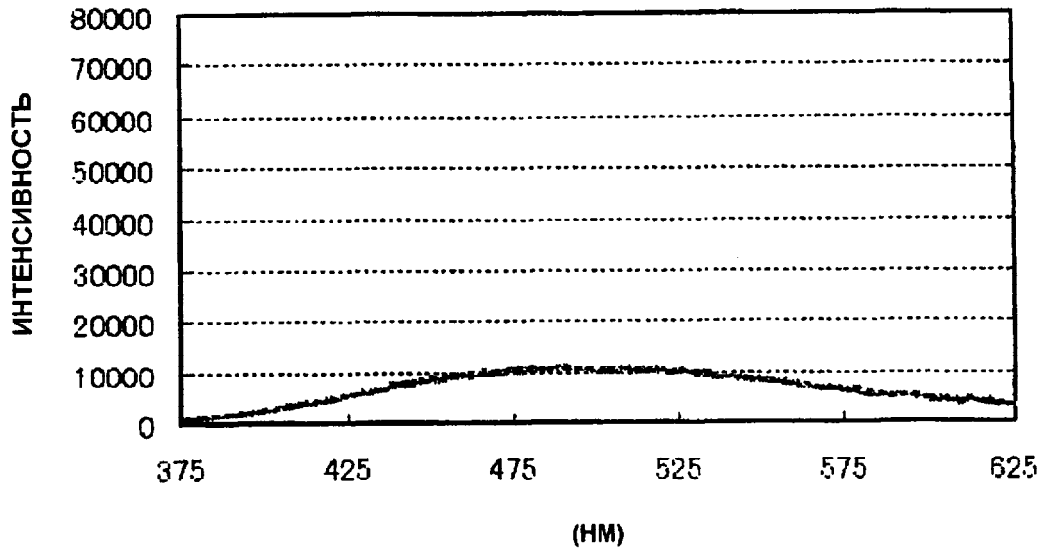
ФИГ.37



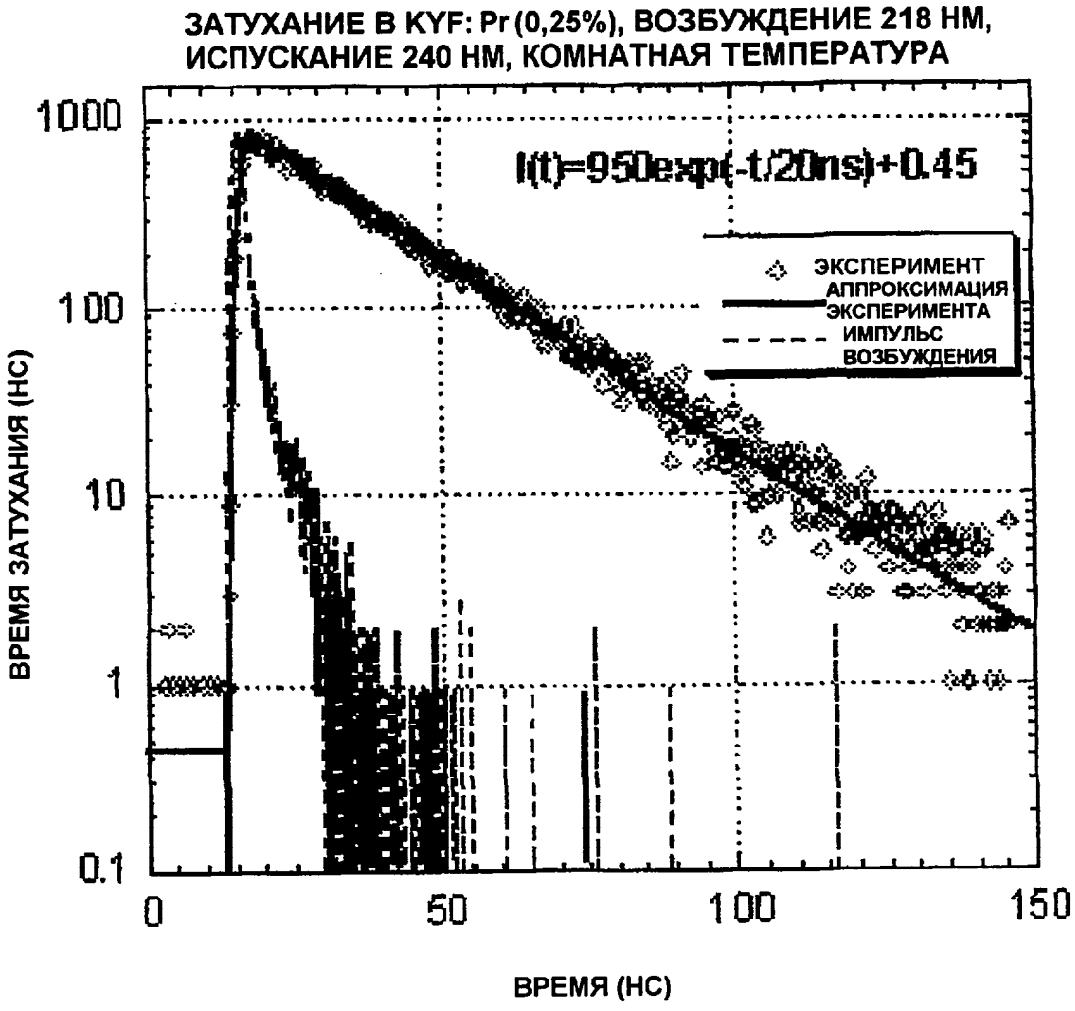
ФИГ.38



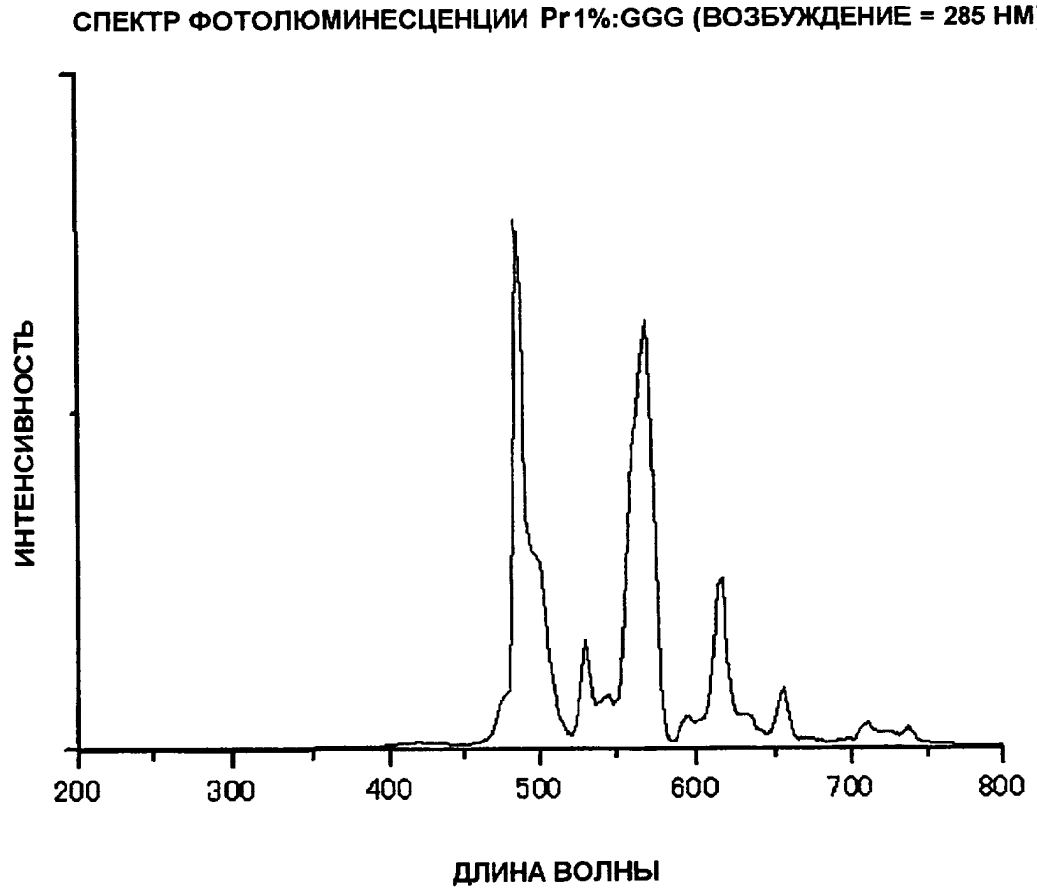
ФИГ.39


ИНТЕНСИВНОСТЬ
80000
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
375
425
475
525
575
625
(НМ)

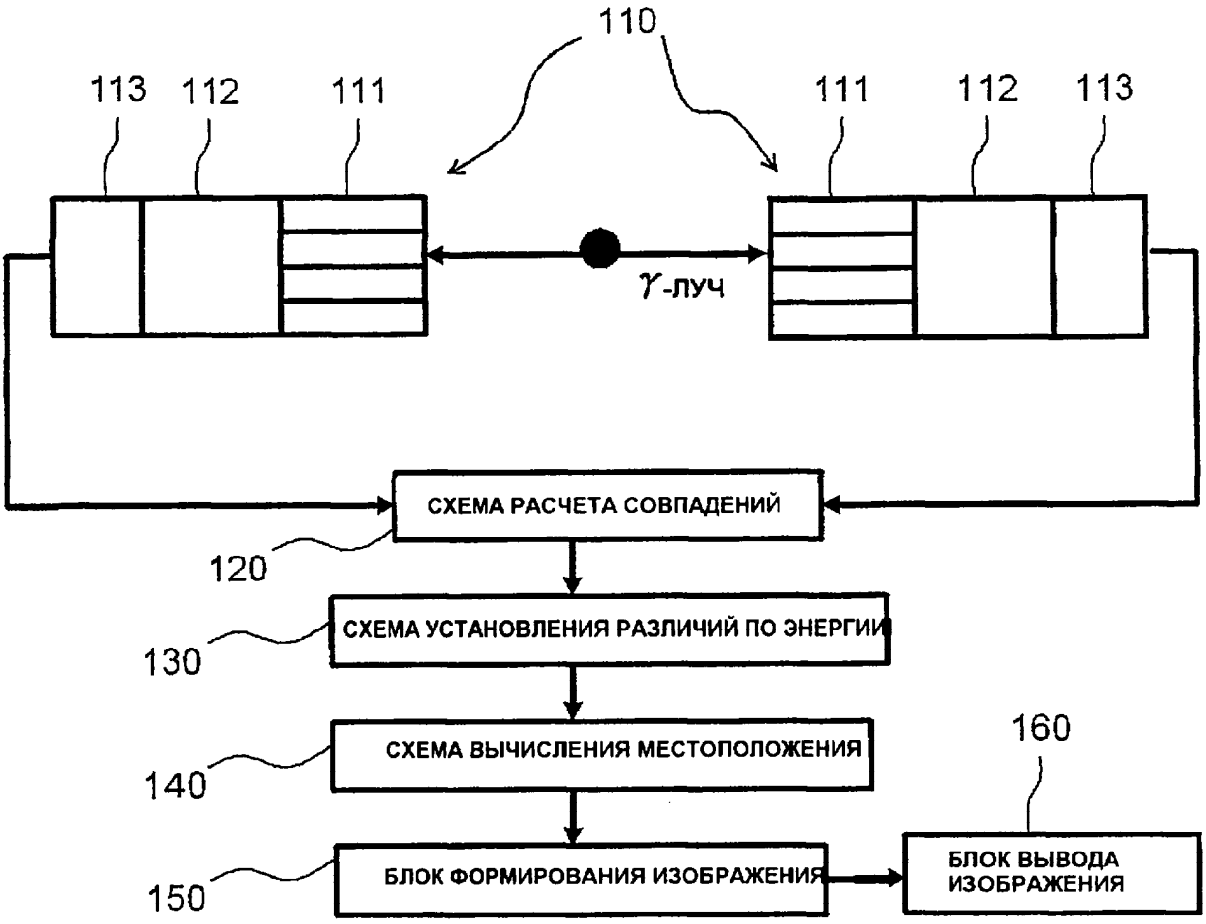
ФИГ.40


ЗАТУХАНИЕ В KYF: Pr (0,25%), ВОЗБУЖДЕНИЕ 218 НМ,
ИСПУСКАНИЕ 240 НМ, КОМНАТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА
I(t)=950exp(-t/20ns)+0.45
ЭКСПЕРИМЕНТ
АППРОКСИМАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА
ИМПУЛЬС ВОЗБУЖДЕНИЯ
ВРЕМЯ ЗАТУХАНИЯ (НС)
1000
100
10
1
0.1
0
50
100
150
ВРЕМЯ (НС)

ФИГ.41


СПЕКТР ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ Pr1%:GGG (ВОЗБУЖДЕНИЕ = 285 НМ)
ИНТЕНСИВНОСТЬ
200
300
400
500
600
700
800
ДЛИНА ВОЛНЫ

ФИГ.42


110
113
112
111
111
112
113
γ-луч
СХЕМА РАСЧЕТА СОВПАДЕНИЙ
120
СХЕМА УСТАНОВЛЕНИЯ РАЗЛИЧИЙ ПО ЭНЕРГИИ
130
СХЕМА ВЫЧИСЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ
140
160
БЛОК ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ
150
БЛОК ВЫВОДА ИЗОБРАЖЕНИЯ

ФИГ.43