

На правах рукописи

ЗО ТХЕТ

ДЕТЕКТОР РЕНТГЕНОВСКОГО И АННИГИЛЯЦИОННОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ НА КРИСТАЛЛАХ LSO

Специальность: 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Автор:

Москва – 2007 г.

Работа выполнена в Московском государственном инженерно-физическом институте (государственном университете)

Научный руководитель: Доктор физико-математических наук,
Профессор Беляев В.Н.

Официальные оппоненты: Доктор Технические Наук,
Блинов Н.Н.
ЗАО «АМИКО», г. Москва

Кандидат физико-математических наук,
Бардышев И.И.
ИФК РАН, г. Москва

Ведущая организация: Союзный научно исследовательский институт
приборостроения (СНИИП)

Защита состоится « 22 » мая 2007 г. В 14 час. 00 мин. на заседании специализированного совета Д 212.130.07 в Московском государственном инженерно-физическом институте (государственном университете) по адресу: 115409, Москва, Каширское шоссе 31, тел. 324-84-98, 323-91-67

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИФИ

Автореферат разослан « 20 » Апреля 2007 г.

Просим принять участие в работе совета или прислать отзыв в одном экземпляре, заверенный печатью организации.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.ф.-м.н., профессор



Дмитренко. В.В

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Изучение внутренней структуры промышленных и биологических объектов с использованием рентгеновских радиографов и позитронных томографов в сильной степени зависит от типа детекторов рентгеновского и аннигиляционного излучений и возможности снижения фона от рассеянного излучения. В настоящее время активно проводятся работы по разработке детекторов, реализующих возможность регистрации отдельных фотонов, с их отбором по энергии.

Детекторы должны состоять из нескольких индивидуальных детекторных элементов, позволяющих идентифицировать рентгеновский или аннигиляционный квант, прошедший через этот элемент. И для каждого зарегистрированного кванта давать временную и пространственную локализацию с использованием быстросрабатывающей электроники. При этом эта же электроника должна позволять отбирать события по их временам регистрации в отдельных элементах детектора.

- **Актуальность исследования.** Создание новых цифровых установок за счет использования новой элементной базы (сцинтилляторов и фотодетекторов), которые позволили бы минимизировать дозы облучения при рентгенологических и томографических исследованиях без потери информации в визуализированном изображении, а также улучшать контрастность изображения с сохранением разрешающей способности, лежит на пути изучения возможности использования новых сцинтилляционных кристаллов и новых фотоумножителей.

Получение высокого качества изображения внутренней структуры объекта связано с выполнением достаточно жестких требований, предъявляемых как к сцинтиллятору, так и фотоумножителю:

1. эффективность регистрации детектора $> 85\%$ для $E_{\gamma} = [100 \div 600]$ кэВ.
2. пространственное разрешение < 5 мм на уровне FWHM, так как пространственное разрешение детектора есть основной фактор, влияющий на пространственное разрешение восстанавливаемого из измерений изображения внутри структуры объекта.
3. мертвое время детектора < 4 нс., для высоких скоростей счета регистрируемых полезных событий.
4. временное разрешение детектора < 5 нс.
5. энергетическое разрешение < 100 кэВ на уровне FWHM, для того, чтобы отсесть влияние событий относящихся к регистрации комптоновских γ - квантов от полезных событий.

Выбор типа сцинтиллятора для детектора зависит от значения величины фотоэлектрической длины ослабления гамма или рентгеновского (радиационная длина ослабления). В стандартных детекторах используют кристаллы BGO. В настоящее время выращены новые сцинтилляторы (LSO и LYSO) с большим Z и ρ , большим световыходом и коротким временем высвечивания сцинтилляционной вспышки.

В настоящее время появилось множество новых фотодетекторов. Примерами таких фотодетекторов может служить годоскопический фотоумножитель, многоанодный фотоумножитель и фотоумножитель на микроканальных пластинах. Очевидно, что использование этих фотодетекторов и новых сцинтилляционных кристаллов в принципе позволяет создать малые по размеру детекторные модули рентгеновского и аннигиляционного излучения.

Цель диссертационной работы — создание новых детекторных модулей рентгеновского и аннигиляционного излучения. Исследование спектротрических и временных характеристик сцинтилляционных детекторов с сцинтилляторами LSO, оптически сочлененными с годоскопическими и многоканальными фотоэлектронными умножителями.

Научная новизна работы определяется тем, что в ней:

1. Впервые проведены исследования спектротрических и временных характеристик сцинтилляционного монокристалла $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{:Ce})$ которые включали в себя изучение влияние концентрации Ce^{3+} на световыход. Изучена зависимость световыхода сцинтилляционной вспышки от различных материалов упаковки кристаллов и обработки поверхности кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{:Ce})$;

2. Впервые были проведены измерения интенсивности собственного гамма излучения кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{:Ce})$, а также определена энергии этого излучения.

3. Впервые было изучено послесвечение кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{:Ce})$, размером $(1 \times 1 \times 1 \text{ мм}^3)$, с разной концентрацией Ce.

4. Впервые был создан многоканальный детектор на основе многоанодного ФЭУ R5900 производства фирмы HAMAMATSU и сцинтилляционных кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{:Ce})$. Детектор имел матрицу $[4 \times 4]$ сцинтилляторов, эффективность регистрации рентгеновского излучения 80 %, мертвое время канала $\tau_m = 200 \text{ нс}$;

5. Создан прототип рентгеновского щупа для регистрации рентгеновского излучения на основе монокристаллического слоя LSO (размер гранул $\sim 15 \div 20 \text{ мкм}$).

Достоверность и обоснованность основных научных положений и выводов диссертационной работы определяется сравнением результатов измерений настоящей работы с опубликованными в литературе сопоставимыми

данными других авторов и использованием для измерений современной высокоточной электроники и программного комплекса.

Практическая значимость. Полученные данные в исследованиях спектрометрических и временных характеристик сцинтилляционного монокристалла $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{Ce})$ использовались для внесения поправок и корректировок в ход технологии выращивания этих кристаллов.

Создана экспериментальная установка для проведения спектрометрических измерений. В качестве фотоприемника использовался фотоэлектронный умножитель XP2020/Q. Величина собственных электрических шумов не превосходит 80 мкВ. Изучена зависимость световыхода сцинтилляционной вспышки от различных материалов упаковки кристаллов и обработки поверхности кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{Ce})$. Наибольшая величина выхода света сцинтилляционной вспышки (световыход) достигалась при упаковке кристалла в усеченный конус из майлара с тонкой боковой поверхностью.

Показано, что интенсивность собственного гамма излучения кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{Ce})$, при проведении специальной термической и химической обработке исходной шихты привела к уменьшению вдвое интенсивности собственного гамма излучения с энергией $E_\gamma \approx 460$ кэВ.

Установлено, что сцинтиллятор LSO имеет моноклинную двухосную кристаллическую структуру и обладает двумя центрами свечения. Это приводит к наблюдению двух пиков полного поглощения в энергетических спектров для гамма квантов с $E_\gamma = 662$ КэВ. При изменении ориентации кристалла относительно окна фотоумножителя – изменяется и относительный вес пиков.

На основе современных фотоумножителей и кристаллов LSO создан прототип детектора рентгеновского и аннигиляционного излучения матричного типа (4×4 ячеек) с пространственным разрешением 0,8 мм.

Создан рентгеновский щуп для регистрации рентгеновского излучения с энергией $E \approx 10 \div 100$ кэВ. Эффективность регистрации рентгеновского излучения с энергией 5.5 кэВ -95% и с энергией 60 кэВ – 37%.

На защиту выносятся следующие основные положения.

1. Результаты спектрометрических и временных измерений сцинтилляционного кристалла LSO;
2. Экспериментальные результаты по исследованиям спектрометрических свойств рентгеновского щупа на основе монокристаллического слоя LSO;
3. Результаты измерений регистрации света сцинтилляционной вспышки в отдельном элементе детектора с использованием годоскопических фотоумножителей;

4. Результаты измерений с рентгеновским источником для исследования амплитудных и частотных (временных) характеристик сцинтилляционных сборок кристаллов LSO и многоанодных ФЭУ;

5. Результаты измерений пространственного разрешения и спектрометрических свойств многоканального ПЧД созданного на основе ФЭУ R5900 фирмы HAMAMATSU, XP2020/Q и сцинтилляционных кристаллов LSO;

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Она изложена на 100 страницах, включает 41 рисунок, 5 таблиц и список литературы из 76 наименований.

Работа выполнялась на кафедре «Медицинская физика» МИФИ.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на конференциях: «Научная сессия МИФИ - 2006» (г. Москва, 21-25 января 2006 года), Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference, 2006 San Diego, California, «Научная сессия МИФИ - 2007» (г. Москва, 21-25 января 2007 года).

Публикации и доклады. Результаты диссертации опубликованы в 5 работах, список которых приведен в конце автореферата.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследования, определена цель работы, дана общая характеристика проведенных исследований, отражены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе рассмотрены требования к детекторам рентгеновского и аннигиляционного излучений. Рассмотрены основные характеристики новых сцинтилляционных кристаллов. Более подробно рассмотрены характеристики сцинтилляционного кристалла LSO. С точки зрения кристаллохимии формула LSO должна записываться $\text{Lu}_2\text{O}(\text{SiO}_4)$, так как оксиортосиликат лютеция относится к силикатам, в структуре которых, кроме ионов кислорода, принадлежащих SiO_4 - тетраэдрам, присутствуют изолированные (свободные) ионы кислорода. Свободные ионы кислорода связаны с некоторыми ионами лютеция «мостиковыми» связями, более короткими, чем все остальные связи в данной структуре.

Один из ионов лютеция - Lu^1 - окружен семью кислородами. Его координационный полиэдр образован пятью кислородами, принадлежащими к SiO_4 - тетраэдрам, и двумя «свободными» кислородами. Другой ион лютеция - Lu^2 - находится в окружении шести кислорода, образующих искаженный октаэдр. Четыре кислорода, входящих в этот октаэдр, являются кислородами тетраэдров, остальные два - «свободными». Таким образом, координационное число по кислороду для Lu^1 равно 7, а для Lu^2 – 6.

Когда LSO легируется церием, церий занимает позиции основных ионов (Lu^{3+}) в виде трехвалентных ионов (Ce^{3+}). Поскольку в структуре LSO ионы лютетия занимают две различные кристаллографические позиции, то и трехвалентные ионы церия также имеют две позиции, то есть в LSO существуют два типа центров свечения.

Кристаллы LSO имеют более высокую плотность, чем кристаллы BGO, больший световой выход и радиационную длину 1.11 см (1.14 для BGO). Очень важны механические и химические свойства кристалла. Сцинтиллятор LSO не гигроскопичен и не требует специальной защиты от влаги. Также кристалл стоек к агрессивным средам.

Важной задачей, которая трудно достижима, является получение однородности пространственного разрешения по всему полю видения детектора, которое ограничивается "артефактами", возникающими в силу неоднозначности в определении координаты по пучку излучения и приводящая к ошибке в определении реальной координаты положения источника. Рассмотрены различные конструктивные решения детекторов.

Проведен анализ использования годоскопических и многоанодных фотоумножителей для создания детекторов рентгеновского и аннигиляционного излучений.

Во второй главе рассмотрены экспериментальные исследования свойств кристаллов LSO(Ce). Схема для проведения спектрометрических измерений представлена на рис. 1. В качестве фотоприемника использовался фотоэлектронный умножитель XP2020/Q, помещенный в непроницаемый для света ящик. Выходной сигнал подается на малошумящий усилитель LeCroy. По одному каналу происходит формирование ворот, другой канал – спектрометрический. Задержкой в спектрометрическом тракте осуществляется сдвиг сигнала относительно ворот. При создании установки удалось достичь величины собственных электрических шумов не выше 80 мкВ.

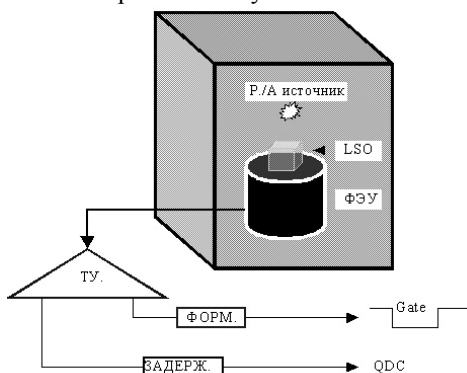


Рис.1: Схема для проведения спектрометрических измерений

Для определения энергетического разрешения исследуемых кристаллов использовался фотоумножитель XR2020/Q. График зависимости световыхода от энергии гамма квантов представлен на рис. 2. Наибольшая величина выхода света сцинтилляционной вспышки (световыход) достигалась при упаковке кристалла в усеченный конус из майлара с тонкой боковой поверхностью.

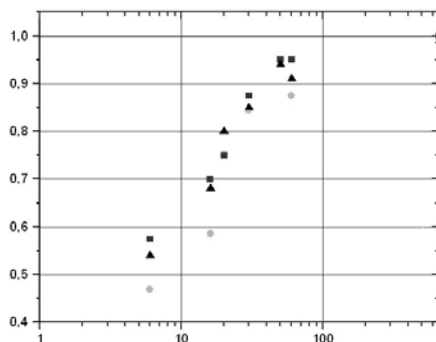


Рис. 2. График зависимости световыхода от энергии гамма квантов

При изготовлении кристаллов используется редкоземельный металл лютеций, который имеет радиоизотопы. Исходная шихта содержала, как стабильный, так и радиоактивный изотопы лютеция ^{176}Lu . ^{176}Lu при β, γ - распаде испускает гамма кванты с энергией 202 кэВ и 306 кэВ. Для определения вклада собственного гамма излучения этого кристалла и энергии испускаемых квантов были проведены следующие измерения. Первоначально измерялся амплитудный спектр от кристалла NaI(Tl) (рис.3.1). Далее на кристалл помещался NaI(Tl) исследуемый кристалл LSO и за тоже время измерялся амплитудный спектр (рис.3.2). Разность спектров, получалась с использованием специальной программы MESMATH, написанной для этой цели.

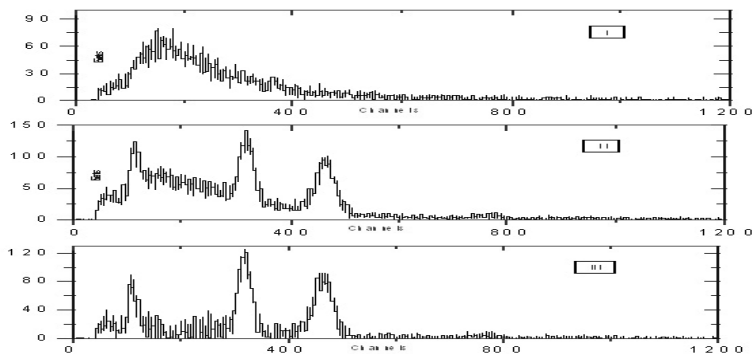


Рис.3. Собственное гамма излучение кристалла LSO.

Проведенная калибровка позволила определить энергию третьего пика $E_{\gamma} \approx 460$ кэВ и его интенсивность (300 событий в секунду). Специальная термическая и химическая обработка исходной шихты для выращивания кристаллов LSO привела к уменьшению вдвое интенсивности собственного гамма излучения с энергией $E_{\gamma} \approx 460$ кэВ.

Было изучено послесвечение кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{Ce})$, размером $(1 \times 1 \times 1 \text{ мм}^3)$, с разной концентрацией Ce, при облучении их в течение 10 минут солнечным светом, рис.4. Было установлено, что послесвечение состоит из нескольких компонентов, длительность которых меняется от нескольких минут до нескольких часов. При этом интенсивность и длительность послесвечения зависит от концентрации Ce в кристалле и дозы облучения.

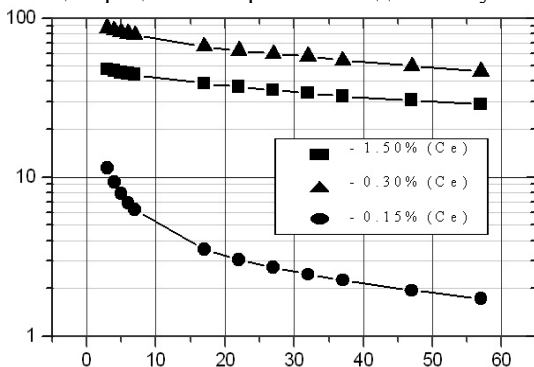


Рис.4. послесвечение кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{Ce})$.

Для определения предельного временного разрешения кристаллов LSO проводились измерения по схеме из двух кристаллов $2 \times (\text{LSO} + \text{ФЭУ143})$, размером $4 \times 4 \times 10 \text{ мм}^3$. Лучший результат по временному разрешению равен $\Delta R = (800 \pm \delta t)$ пс, на уровне FWHM.

В третьей главе приведены результаты по созданию однокоординатного и двухкоординатного детекторов на кристаллах и ГФЭУ. Стремление создать портативный радиограф с матричным детектором счета отдельных рентгеновских фотонов требует решить задачу установления однозначного соответствия между элементом детектора и сигналом поступающим в регистрирующий тракт. В качестве основной конструкции детектора предлагалась схема в которой кристаллы $\text{LSO} 1 \times 1 \times 10 \text{ мм}$ располагаются вдоль фотокаатода ГФЭУ на световодах. К одному из торцов каждого кристалла прикрепляются на оптический клей световоды из оргстекла площадью поперечного сечения $1 \times 1 \text{ мм}$ различной длины. Изучались световоды различной формы и имеющие различные геометрические размеры. Проведенные эксперименты с показали, что имеет место существенная разница в световых выходы с большой и малой граней сцинтиллятора, обусловленная оптической двусностью кри-

сталлов. Поэтому была осуществлена попытка снимать свет с больших граней кристаллов, однако значительные потери света в узких миллиметровых изогнутых световодах, делают невозможным определение второй координаты в такой конструкции детектора. Для изучения возможности использования ГФЭУ для определения элемента матрицы сцинтилляторов была собрана плотноупакованная матрица из 25 кристаллов LSO с размерами 1x1x10 мм. Матрица, а также два кристалла LSO с размерами 4x4x10 мм, помещались на фотокатод ГФЭУ. Кристаллы с размерами 4x4x10мм служили в виде временных меток и позволяли определять пространственное разрешение ГФЭУ. Для обеспечения стартового сигнала использовали ФЭУ – 143, оптически сочлененный с матрицей кристаллов и двумя реперными кристаллами. Сигналы с ГФЭУ и ФЭУ поступали на ФСП и далее на АЦП или ВАП.

На рис.5 приведен временной спектр, измеренный с использованием радиоактивного источника Cs^{137} , расположенного на расстоянии 50 мм от фотокатода ГФЭУ. Реперные кристаллы были расположены на фотокатоде ГФЭУ на расстоянии 12мм между центрами. Расстояние между кристаллом LSO и ближним краем матрицы было 8мм. Из этого спектра была определена величина удельной задержки ГФЭУ, которая была равна 37 нс на один сантиметр вдоль фотокатода ГФЭУ. Расстояние в 1 мм соответствует четырем каналам временного спектра.

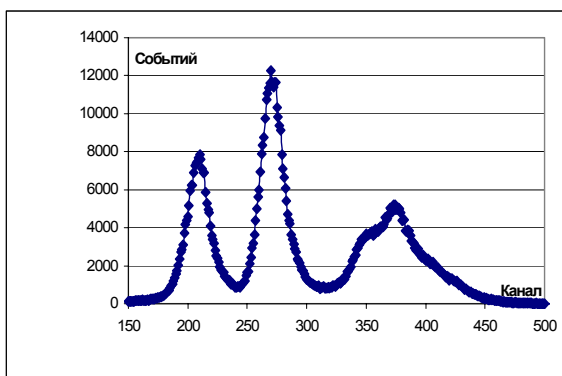


Рис.5 Временной спектр. Cs^{137} , 50 мм от фотокатода ГФЭУ.

Два четких пика для кристаллов 4x4x10мм (т.к. один из кристаллов, в силу непредвиденных обстоятельств, треснул, световыход из него был меньше) и один размытый для матрицы и не позволяет однозначно различать «столбцы» сцинтилляционной матрицы.

В четвертой главе рассмотрен двухкоординатный детектор на кристаллах LSO и фотоумножителях H6568. В экспериментах с тонкими кристаллами LSO было замечено, что сцинтиллятор LSO имеет моноклинную двухос-

ную кристаллическую структуру, а также обладает двумя центрами высвечивания. У кристалла присутствует ярко выраженная неоднородность по световыходу в области энергий от 10 до 100 кэВ. При проведении исследований данной кристаллической структуры наблюдалась еще одна особенность LSO зависимость световыхода от расстояния окна фотоприемника (в данном случае ФЭУ XP2020/Q) до места взаимодействия γ – квантов. Исследования проводились на образце сцинтиллятора LSO размером $[4 \times 4 \times 10 \text{ мм}^3]$. Схема эксперимента показана на рис.6. Источник γ – квантов был коллимирован так, что диаметр выходящего пучка $\varnothing = 1 \text{ мм}$, и при помощи шагового механизма мог смещаться вдоль сцинтиллятора с шагом $L = 1 \text{ мм}$.

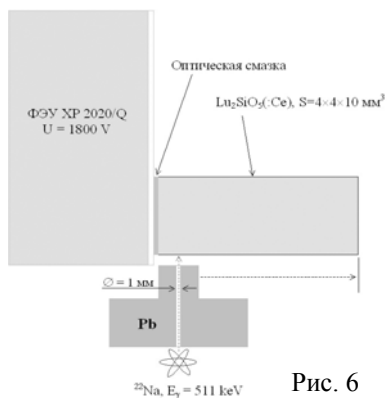


Рис. 6

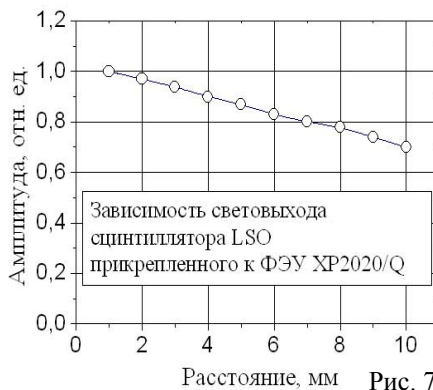


Рис. 7

В результате проведенного эксперимента получены данные зависимости световыхода Q как функции расстояния L . Эта зависимость приведена на рис.7. Измерения проводились при комнатной температуре. Полученные данные показывают, что при измерении расстояния облучения от 1 мм до 10 мм, величина световыхода падает на 30 %.

Для изучения влияния концентрации церия на световыход кристалла $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{Ce})$ были исследованы сцинтилляторы размером $1 \times 1 \times 1 \text{ мм}^3$, вырезанные в форме параллелепипедов, с концентрацией $C_{\text{Ce}} = (0.15\%, 0.30\% \text{ и } 1.5\%)$. Кристаллы облучались источником гамма квантов ^{137}Cs с энергией $E_\gamma = 662 \text{ кэВ}$. Было обнаружено, что увеличение концентрации церия, с уровня 0.15% до уровня 1.5% приводит к уменьшению световыхода от значения 1 до 0.77 в относительных единицах.

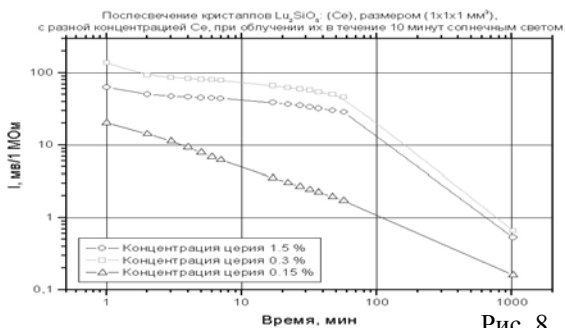


Рис. 8

Одна из основных задач было создание двухкоординатного детектора. Первые результаты были получены при исследовании характеристик детектора построенного на основе многоанодного ФЭУ R5990 фирмы НАМАМАТСУ и сцинтилляционных кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{Ce})$, облучаемых радиоактивным источником ^{241}Am , с энергией γ -квантов 60 кэВ, который находился на расстоянии $L \approx 150 \text{ мм}$ от рабочей площади фотодетектора. Кристаллы имели размер $[1 \times 1 \times 10 \text{ мм}^3]$, торец кристалла, обращенный к окну фотоумножителя, был отполирован. Кристаллы были прикреплены к окну ФЭУ оптическим клеем без специальной светоизоляции. Полученное пространственное разрешение данного детектора $R = 0,8 \text{ мм}$.

Следующим этапом работы было создание детектора с использованием 16-канального фотоумножителя H6568. На рис.9. приведена счетная характеристика для такого детектора. Вместе с основными пиками наблюдались незначительные пики соседних каналов

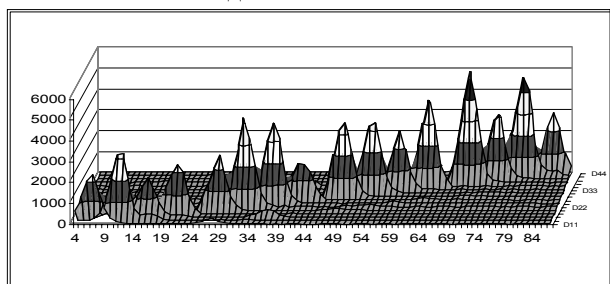


Рис.9: Результаты измерений счетных характеристик со свинцовыми пластинами

Это, по-видимому, связана с двумя причинами: во-первых, сцинтиллятор не полностью экранирован от комптоновских γ -квантов, возникающих в сцинтилляторах и, во-вторых, не достаточное разделение фото катода и диодных систем в многоанодном ФЭУ. Наличие подобного эффекта было изучено с использованием специального коллиматора рентгеновского излучения.

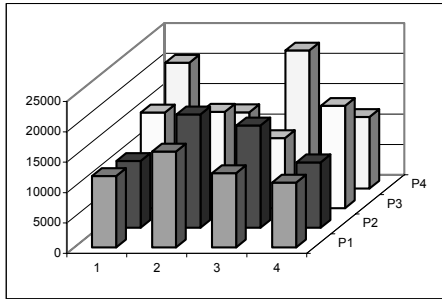


Рис.10: Результат облучения шестнадцати каналов ПЧД через свинцовый коллиматор с отверстиями различного диаметра отбор, коррекция и анализ амплитудных сигналов позволяет отсеять артефакты, обусловленные данной схемой измерений.

На рис. 10 приведен результат шестнадцати таких экспериментов с коллимированным рентгеновским пучком $E_{\gamma(\max)} = 30$ кэВ. Диаметр пучка был равен $\varnothing=100$ мкм.

В последнее время многими лабораториями предпринимаются поиски сцинтилляционных кристаллов для создания пленочных детекторов для регистрации мягкого γ - и рентгеновского излучения. Определенные трудности при изготовлении такого типа экранов появляются на этапе создания пленок толщиной в несколько десятков микрон. Благодаря своим свойствам $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{:Ce})$ было решено использовать для создания годоскопического экрана для энергий $E \approx 10 \div 100$ кэВ.

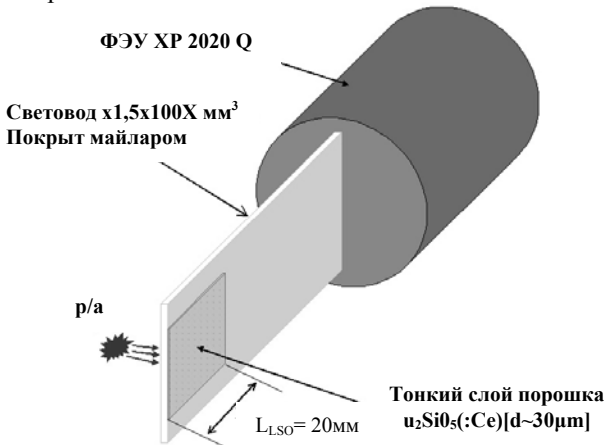


Рис.11: Рентгеновский шуп (на стадии изучения сцинтиллятора - годоскопический экран) на основе пленки LSO

Был выбран лучший образец по световыходу и на его основе был приготовлен рентгеновский шуп, который представлял из себя фотоумножитель, с прикрепленным к нему световодом на который нанесен слой порошка LSO. Данный рентгеновский шуп позволяет эффективно работать с γ квантами $E_\gamma = 10 \div 100$ keV. Зависимость эффективности регистрации от энергии

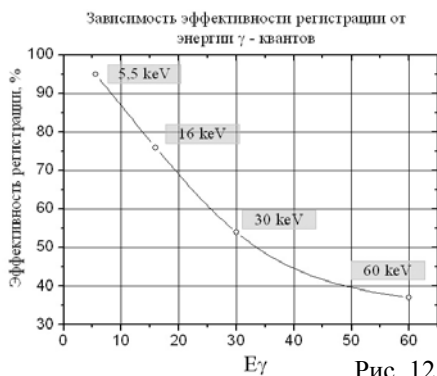


Рис. 12

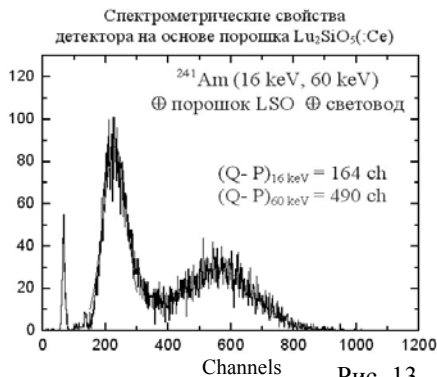


Рис. 13

гамма кванта представлена на рис.12. Облучение такого детектора проводилось при помощи различных γ - радиоактивных источников (^{137}Cs [30 кэВ], ^{241}Am [16 кэВ, 59,5 кэВ]). Эффективность регистрации рентгеновского излучения с энергией 5.5 кэВ -95% и с энергией 60 кэВ – 37%.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Создана экспериментальная установка для проведения спектрометрических измерений. В качестве фотоприемника использовался фотоэлектронный умножитель XR2020/Q, помещенный в непроницаемый для света ящик. Выходной сигнал подается на малошумящий усилитель LeCroy. По одному каналу происходит формирование ворот, другой канал – спектрометрический. Величина собственных электрических шумов не превосходит 80 мкВ .
2. Изучена зависимость световыхода сцинтилляционной вспышки от различных материалов упаковки кристаллов и обработки поверхности кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{Ce})$. Наибольшая величина выхода света сцинтилляционной вспышки (световыход) достигалась при упаковке кристалла в усеченный конус из майлара с тонкой боковой поверхностью. Величина световыхода кристалла L_{con} с упаковкой типа «конус» по отношению к величине световыхода кристалла L без упаковки оказалось вдвое выше.

3. Были проведены измерения интенсивности собственного гамма излучения кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{:Ce})$, а также определены энергии этого излучения. Гамма спектр содержит три линии с энергиями: 202 кэВ и 306 кэВ и 460 кэВ. Интенсивность собственного гамма излучения 300 событий в секунду.
4. Было изучено послесвечение кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{:Ce})$, размером $(1 \times 1 \times 1 \text{ мм}^3)$, с разной концентрацией Ce, при облучении их в течение 10 минут солнечным светом, Установлено, что послесвечение состоит из нескольких компонент, длительность которых меняется от нескольких минут до нескольких часов.
5. Проведено изучение возможности использования годоскопических фотоумножителей для регистрации света сцинтилляционной вспышки в отдельном элементе детектора. Из экспериментальных измерений получено, что при расстоянии между кристаллами 8 мм вдоль фотокатода ГФЭУ, то есть вдвое превышающими линейный размер кристалла, можно установить однозначное соответствие между кристаллом и его координатой.
6. Для матрицы из кристаллов LSO с размерами $1 \times 1 \times 3 \text{ мм}$ было показано, что свет от всего «столбца» матрицы приводит к размытию временного спектра вдоль оси ГФЭУ и не позволяет однозначно различать ее «столбцы».
7. Сцинтиллятор LSO имеет моноклинную двухосную кристаллическую структуру и обладает двумя центрами свечения. Проведены экспериментальные измерения энергетических спектров для гамма квантов с энергией $E = 662 \text{ КэВ}$. В спектрах наблюдается два пика полного поглощения, причем, при изменении ориентировки кристалла относительно окна фотоумножителя – изменяется и относительный вес пиков относительно друг друга. Для подтверждения замеченного эффекта был проведен эксперимент на коллимированном пучке α – частиц от источника Pu^{238} ($E_\alpha = 5.5 \text{ МэВ}$), который подтвердил результаты эксперимента с гамма квантами.
8. Собрана матрица из 16 –ти плотноупакованных (с зазором 0,3 мм) кристаллов с геометрическими размерами $3 \times 3 \times 3 \text{ мм}^3$. Определены пространственное разрешение, эффективность регистрации и однородность чувствительной зоны детектора.
9. Изготовлен рентгеновский шуп для регистрации рентгеновского излучения с энергией $E \approx 10 \div 100 \text{ кэВ}$. Эффективность регистрации рентгеновского излучения с энергией 5.5 кэВ -95% и с энергией 60 кэВ – 37%.

Основные результаты работы опубликованы в следующих научных трудах:

1. Башарули Н.В., Беляев В.Н., Зо Тхет, «Современный многоканальный позиционно – чувствительный детектор для задач позитрон – эмиссионной томографии» Инженерная физика 1/2007;
2. Н.В. Башарули, В.Н. Беляев, Н. Silveira, Р. Yokiashi, М. Namtalishvili, Зо Тхет, «Временные характеристики современного позиционно – чувствительного детектора для задач позитрон - эмиссионной томографии» Научная сессия МИФИ – 2007; том 5,с.14-15.
3. Башарули Н.В., Беляев В.Н., Зо Тхет, «Определение времяпролетных характеристик и глубины поглощения γ - кванта с помощью современного позиционно – чувствительного детектора на основе сцинтилляторов LSO», 2006 «Ядерные измерительно-информационные технологии», 4(20); с.74-81.
4. N. Basharuli, V. Belyaev, M. Namtalishvili, Z. Htet, Y. Myo Aung «Position-Sensitive Detector for PET Based on Multi-Channel APD and Scintillation Crystals LSO», 2006 Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference, 2006 San Diego, California;
5. Башарули Н.В., Зо Тхет , Ян Мьо Аунг, «Проект создания современного позиционно - чувствительного детектора для задач позитрон - эмиссионной томографии» Научная сессия МИФИ – 2006. том 5,с.19-20.