

А.П. Воробьев, С.Н. Головня, С.А. Горохов, В.В. Парахин, М.К. Полковников,
Г.И. Айзенштат, М.А. Лелеков, О.Б. Корецкая, В.А. Новиков, О.П. Толбанов,
А.В. Тяжев, Д.В. Бородин, Ю.В. Осипов

МАТРИЧНЫЙ АРСЕНИД-ГАЛЛИЕВЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ РЕНТГЕНОГРАФИИ

Аннотация

В статье представлены результаты исследования характеристик полупроводникового матричного детектора на основе арсенида галлия, 128 x 128 чувствительных элементов с питчем 50 мкм, аналогового мультиплексора и системы считывания информации для использования в качестве детектирующего элемента в рентгеновских системах средних и низких энергий преимущественно для медицинской техники, дефектоскопии неразъемных соединений и неразрушающего контроля.

Повсеместно растущий интерес к цифровым системам диагностики и анализа, обладающим по сравнению с традиционными средствами целым рядом достоинств, например, такими как удобство получения, хранения и передачи результата, требует развития технологии детектирования. Одним из наиболее перспективных направлений в системах детектирования является использование микросборок, состоящих из пиксельных полупроводниковых детекторов с многоканальными матричными микросхемами считывания информации. Применение подобных микросборок позволяет покрывать большую площадь и получать изображение исследуемого объекта в режиме реального времени. В статье описана установка и приведены первые результаты исследования рабочих характеристик микросборки, состоящей из полупроводникового матричного детектора на основе арсенида галлия, 128 x 128 чувствительных элементов с питчем 50 мкм, соединенного с аналоговым матричным мультиплексором [1]. Микросборка является прототипом системы регистрации рентгеновских изображений, разрабатываемой в настоящее время в Институте физики высоких энергий (ГНЦ ИФВЭ), г. Протвино [2].

Детекторная сборка с электроникой

В составе исследуемой микросборки использован полупроводниковый детектор на основе арсенида галлия (GaAs) резистивного типа [3]-[5]. Питч детектора – 50 мкм при количестве 128 x 128 элементов – дает полный геометрический размер активной площади детектора, равный 6,4 x 6,4 мм². Толщина рабочей области детектора 430...450 мкм, что обеспечивает высокую эффективность регистрации рентгеновского излучения.

Аналоговый мультиплексор представляет собой микросхему высокой степени интеграции, осуществляющую параллельное интегрирование тока чувствительных элементов с последовательным выводом сигналов. Особенностью микросхемы является наличие функции вычитания постоянной составляющей тока в ячейке до интегрирования и функции «окна». Вычитаемая часть тока, задаваемая

извне в зависимости от температуры, типа и приложенного напряжения к детектирующему элементу матрицы, может быть дополнительно откорректирована в процессе работы с помощью пятиразрядного делителя. Это позволяет избежать переполнения интегрирующих емкостей при высоких токах детектирующего элемента. Функция «окна» позволяет устанавливать размер и положение обрабатываемой области мультиплексора. Минимальный размер окна 4 x 4 пиксела может быть увеличен на число, кратное четырем. Положение окна на поверхности пиксельной матрицы может быть задано с точностью до 4 пикселей. Основные рабочие характеристики мультиплексора представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные рабочие характеристики мультиплексора

Формат мультиплексора	128 x 128
Размер ячейки, мкм	50 x 50
Зарядовая емкость, е ⁻	Более 2·10 ⁷
Количество выходов	1 (дифференциальный)
Время интегрирования	Равно времени чтения кадра
Частота вывода сигнала, МГц	Типовая (7)
Максимальная кадровая частота, кГц: при максимальном размере кадра (128 x 128) при минимальном размере кадра (4 x 4)	0,5 250
Диапазон выходного сигнала, В	Более 2
Рассеиваемая мощность при кадре 128 x 128, мВт	35

При подаче на вход аналогового мультиплексора тактовых импульсов от внешнего генератора происходит последовательная выдача накопленной информации в виде уровней напряжения, пропорциональных накопленному на интегрирующей емкости заряду. При этом мультиплексор генерирует

сигналы начала кадра и начала новой строки, которые могут быть использованы для контроля достоверности передаваемых данных при последующей реконструкции изображения.

Детектор и аналоговый мультиплексор вместе с согласующей электроникой размещены на текстолитовой плате, помещенной в охлаждаемый термоизолированный блок. В качестве охлаждающего элемента используется термоэлемент Пельтье с максимальной рабочей мощностью 53 Вт и предельным градиентом температур между теплой и холодной стороной 72 °С. С охлаждаемой стороны на элементе Пельтье размещен алюминиевый радиатор, обдуваемый малогабаритным вентилятором постоянного тока. В текстолитовой плате есть отверстия для свободного прохода воздуха. С противоположной стороны термоэлемента тепло отводится с помощью радиатора воздушного охлаждения, используемого для охлаждения центрального процессора в современных персональных компьютерах. Внешние стенки бокса теплоизолированы пенопластом.

Контроль внутренней температуры в боксе осуществляется с помощью температурного датчика TMP36, выдающего нормированное по температуре напряжение. Точность поддержания температуры составляет 0,1 °С.

Система сбора данных

Для сбора информации с аналогового мультиплексора разработана система сбора данных, состоящая из согласующего усилителя, быстродействующего конвейерного аналого-цифрового преобразователя, статической памяти для хранения результатов измерений, блока управления выборки-хранения, оптических развязок и преобразователя интерфейсов «параллельный код – USB». Микроконтроллер FT-245BM (FTDI, Великобритания) [6] реализует функциональность 8-разрядного стробируемого параллельного порта и блока синхронизации, с одной стороны, и стандартного последовательного интерфейса USB – с другой. Для хранения идентификатора системы применяется микросхема ЕЕПРОМ. Питание FT-245BM раздельное, от порта USB, что обеспечивает взаимодействие микроконтроллера с персональным компьютером при выключении системы сбора данных. В состав системы входят также два двухполярных источника питания, раздельные для аналоговой и цифровой частей системы сбора данных, и высокостабильный источник напряжения, соединенный с микроамперметром, для контроля величины темнового тока детектора. Блок-схема системы сбора данных представлена на рис. 1.

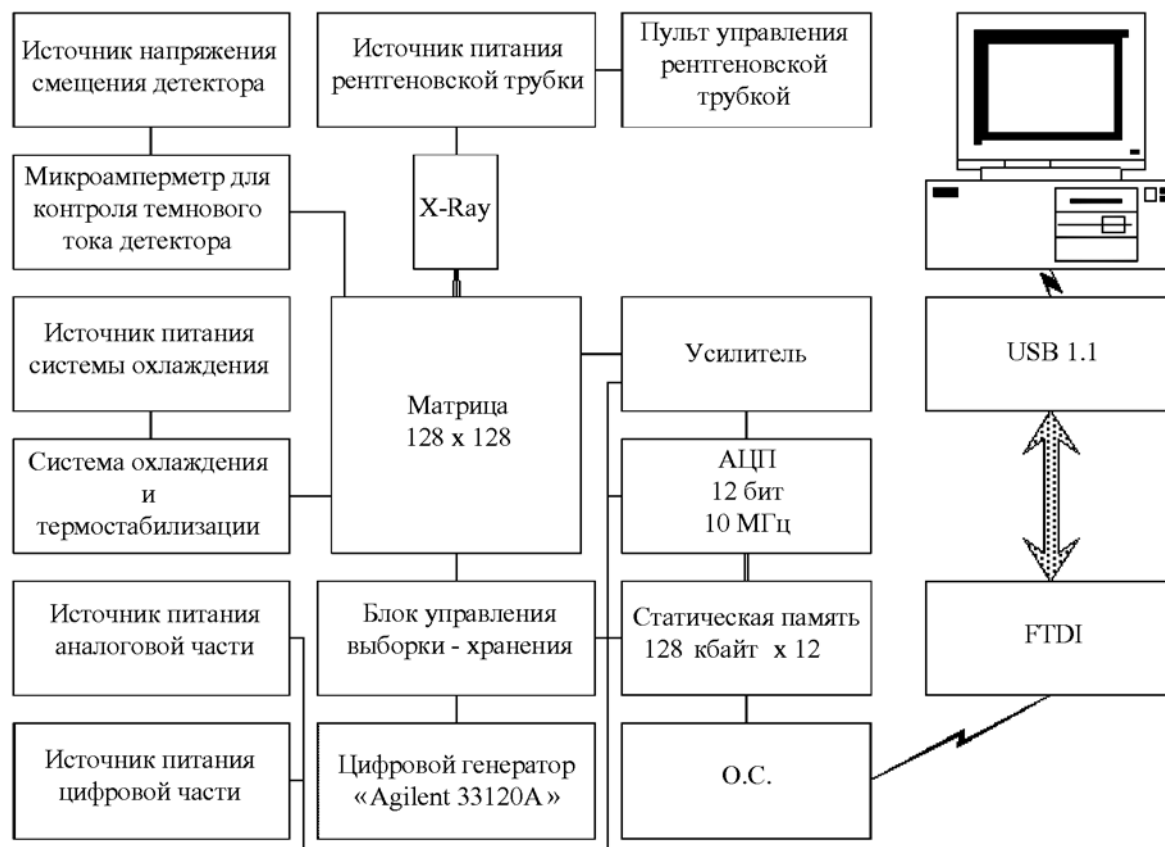


Рис. 1. Блок-схема системы сбора данных

В качестве источника рентгеновского излучения использовалась рентгеновская трубка РАПАН-Д-70 производства ВНИИА [7].

Управление рентгеновской трубкой осуществлялось с выносного пульта дистанционного управления. Возможно также задание рабочих параметров трубки от персонального компьютера.

Система сбора данных и матричный детектор размещались в специально изготовленном металлическом шкафу, обшитом с внутренней стороны свинцовыми плитами для защиты внешней среды от рентгеновского излучения. Система блокировки препятствует включению рентгеновской трубки при открытой дверце шкафа.

Программное обеспечение

Для чтения и предварительной обработки информации был разработан пакет программного обеспечения MATRIX. Разработка велась в среде программирования LabWindows («National Instruments», США) [8]. Вид главного окна программы представлен на рис. 2.

Элементы управления программы MATRIX состоят из верхнего контекстного меню и пяти суб-окон, каждое из которых отвечает за определенную функцию, а именно: графическое представление измеренных либо загруженных с диска данных; параметры коррекции изображения и полноэкранный сглаживания; текущие параметры контроллера последовательной шины USB; управление рентгеновской трубкой – анодным напряжением и током; управление системой термостабилизации с заданием рабочей температуры и допуска на ее

поддержание. Программа позволяет подключить к USB-устройству, считать накопленные данные, отобразить их на экране компьютера и сохранить на жесткий диск. Взаимодействие с микроконтроллером FT-245BM происходит через специализированный драйвер с интерфейсом программирования FTD2XX.

При получении изображений низкоконтрастных предметов использовали несколько методик калибровки полученного изображения для улучшения его контрастности. Первым и самым простым методом была калибровка с использованием двух изображений – пьедестального, полученного без облучения детектора рентгеновским излучением, и фонового, полученного при равномерной засветке детектора от рентгеновской трубки. На основе этих измерений вычислялись два поправочных коэффициента: P – смещение относительно «0», и Φ – масштабный коэффициент, зависящий от чувствительности каждого из пикселей. При всей своей простоте этот метод позволяет быстро, не проводя громоздких вычислений, получить изображение приемлемого качества.

Во время рассмотрения изображения на экране ПК с ним можно производить ряд манипуляций, а именно: уменьшать верхний и повышать нижний порог величин яркостей изображения, выводимого на экран для повышения контрастности изображения; получать необходимые статистические данные о наблюдаемом изображении; проводить «ложное окрашивание» выводимого изображения. Все это повышает удобство работы с программой.

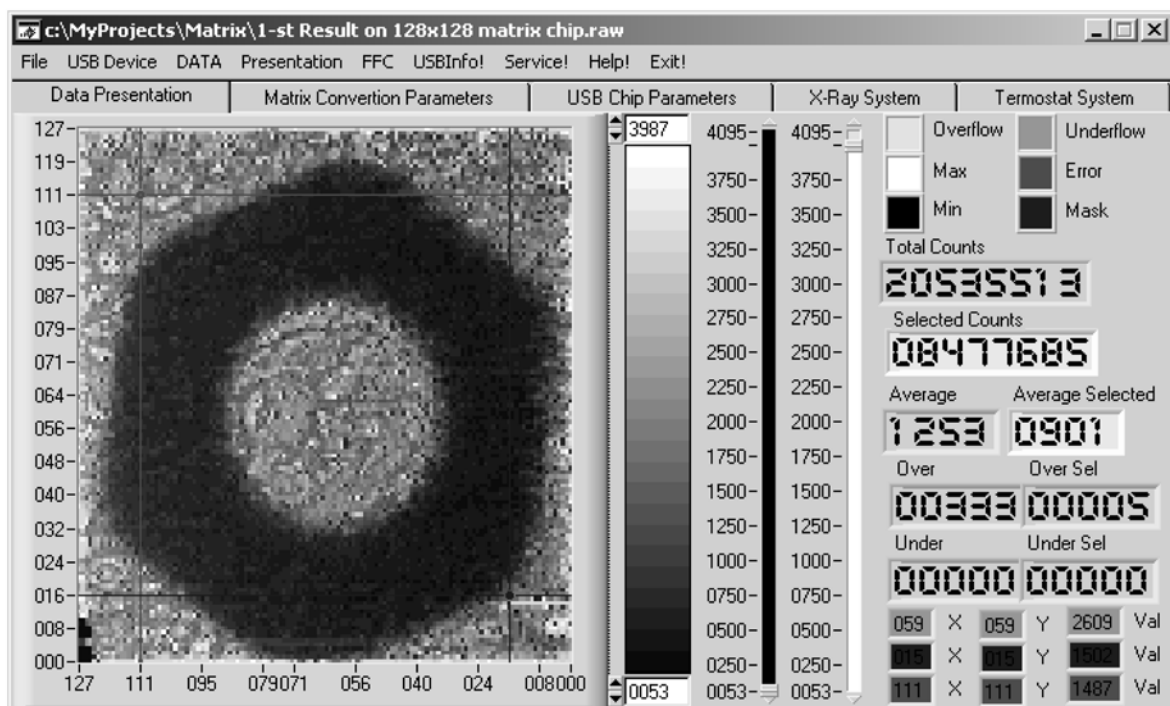


Рис. 2. Вид главного окна программного пакета чтения данных и предварительной обработки

Полученные результаты

Измерение пространственного разрешения

Измерение пространственного разрешения детектора было проведено с использованием стандартной миры с набором 10, 9, 8 и 5,5 пар линий на 1 мм. Результаты измерения пространственного разрешения представлены на *рис. 3-6*. К сожалению, малые размеры активной площади детектора не

позволили представить на одном рисунке одновременно изображение миры и ее номер.

Как уже упоминалось ранее, пикс детектора равен 50 мкм. Таким образом, предельно достижимое пространственное разрешение должно составлять 10 пар линий на 1 мм. Однако проведенное исследование показало, что этой величины достичь не удалось (*рис. 6*). Одной из возможных причин может быть деление заряда между несколькими пикселями детектора.

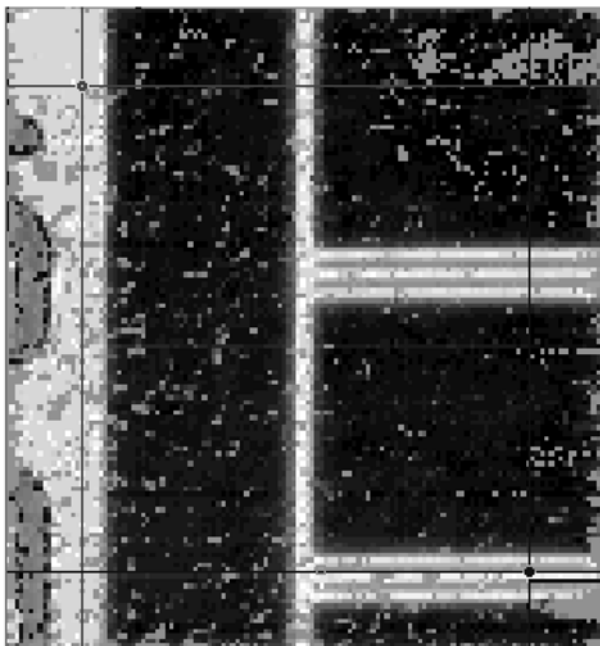


Рис. 3. Изображение миры 5,5 пар линий на 1 мм

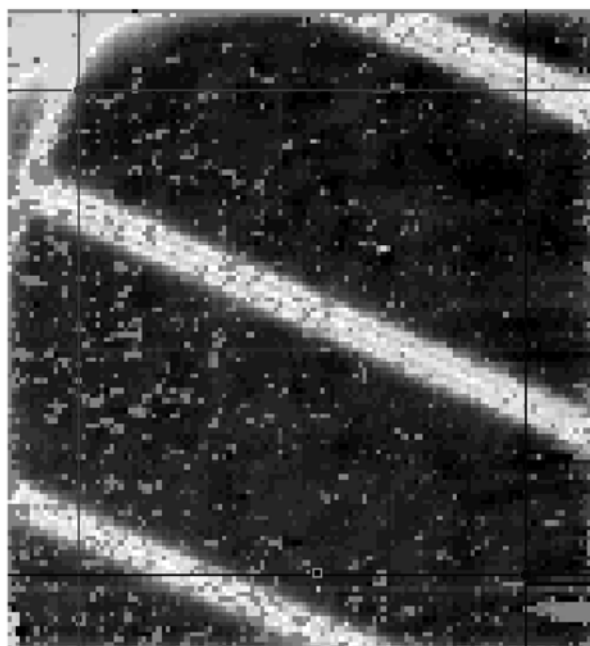


Рис. 4. Изображение миры 8 пар линий на 1 мм

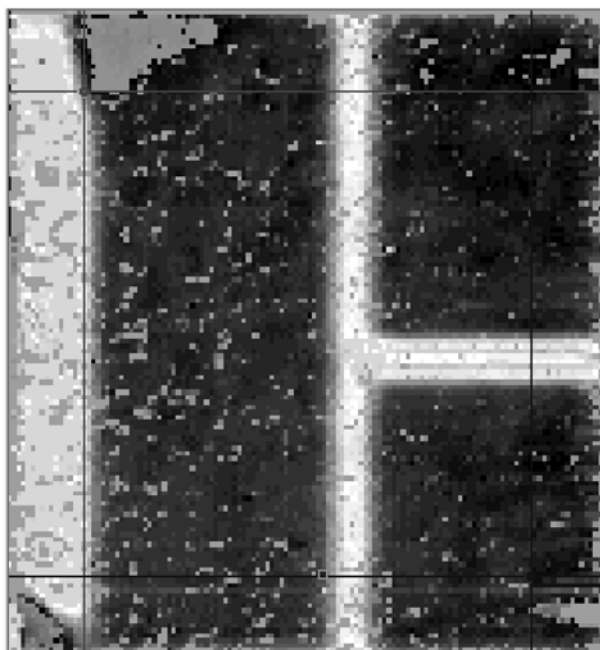


Рис. 5. Изображение миры 9 пар линий на 1 мм

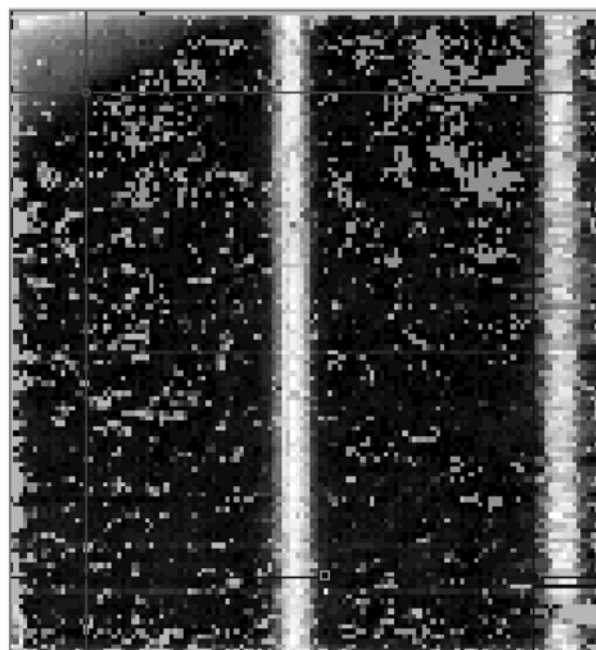


Рис. 6. Изображение миры 10 пар линий на 1 мм

Измерение контрастной чувствительности

Для измерения контрастной чувствительности применялась методика, заключающаяся в наблюдении градиента интенсивности при просвечивании тестового объекта на фоне специального фильтра. Отношение толщин фильтра и тестового объекта дает непосредственно величину контраста. В процессе измерения тестовый объект располагали над поверхностью детектора и накрывали фильтром. Измерение было проведено с использованием стандартного тестового объекта с набором пластин – фильтров 3; 2; 1,5; 1 и 0,5 % из особо чистого алюминия. Тестовый объект представлял собой набор Al-образцов различной формы (круглой, квадратной, треугольной), заключенный между тонкими пластинами из органического стекла. Основным фильтром также служил полированный брусок из особо чистого (>99,99 %) алюминия. При измерении предельной контрастной чувствительности анодное напряжение было установлено равным 70 кВ, а анодный ток – 7 мА, расстояние между тестовым объектом и фокусом рентгеновской трубки составляло 0,5 м, согласно порядку проведения измерений, изложенному в документе «Стандарт предприятия» 01 – 22 – 04 [9], регламентирующем проведение тестовых измерений для цифровых медицинских систем. Полученные результаты представлены на рис. 7, 8 соответственно для объектов 1,5 и 1 % контрастной чувствительности.

Полученные результаты позволяют утверждать, что контрастная чувствительность рассматриваемого матричного детектора не ниже 1 %.

Заключение

Представленные результаты – лишь первые шаги на пути внедрения цифровых бесплёночных систем радиологии с использованием полупроводниковых матричных GaAs-детекторов в практику. Предстоит решить еще достаточно большое количество проблем, связанных со стыковкой матричных детекторов между собой, подбором оптимальных рабочих параметров, системами сканирования и обработки. Но полученные результаты показывают, что некоторые перспективные наработки с арсенид-галлиевыми детекторами могут найти применение в промышленно выпускаемых устройствах уже в настоящее время.

Список литературы:

1. Бородин Д.В., Осипов Ю.В. Матричный мультимплексор с кадровым накоплением для фотоприемных устройств // Прикладная физика. 2003. № 6. С. 98-99.
2. Институт физики высоких энергий (ГНЦ ИФВЭ) / www.ihep.su.
3. Воробьев А.П., Головня С.Н., Горохов С.А. и др. GaAs детекторы для медицинской рентгенографии // Новые промышленные технологии. 2005. № 2. С. 49.

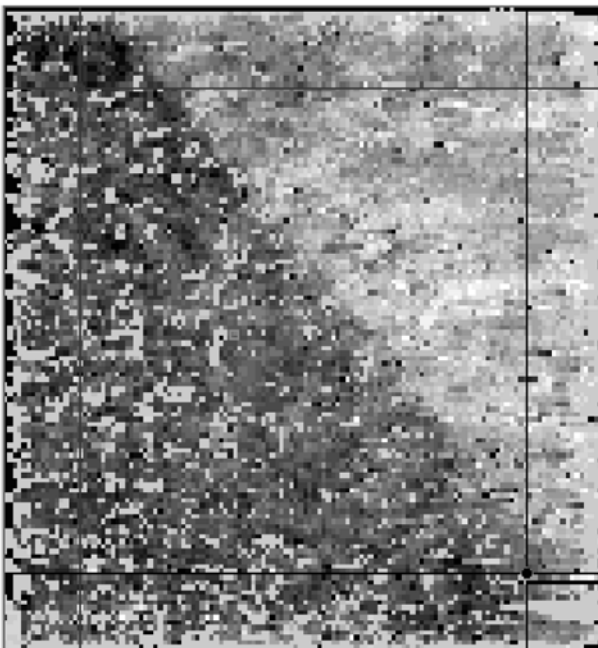


Рис. 7. Тестовый объект 1,5 % контрастной чувствительности

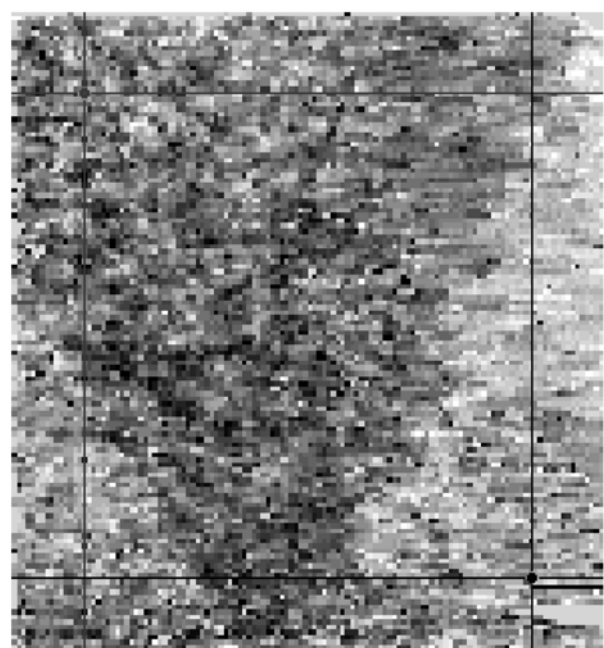


Рис. 8. Тестовый объект 1 % контрастной чувствительности

4. Tyazhev A.V., Budnitsky D.L., Koretskaya O.B., Potapov A.I., Tolbanov O.P., Okaevich L.S., Novikov V.A., Vorobiev A.P. GaAs radiation imaging detectors with active layer thickness up to 1 mm // Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res. 2003. Vol. 509. PP. 34-39.
5. Айзеништат Г.И., Ардашев Е.Н., Воробьев А.П., Иващенко А.И., Корецкая О.Б., Толбанов О.П., Тяжес А.В., Хан А.В. GaAs-детекторы изображений в рентгеновских лучах // Электронная промышленность. 2002. № 2/3. С. 32-36.
6. Future Technology Devices International Limited / www.ftdchip.com.
7. Всероссийский НИИ автоматики им. Н.Л. Духова / www.vniia.ru.
8. National Instruments Co / www.ni.com.
9. Стандарт предприятия 01 – 22 – 04 Приемники рентгеновского излучения рентгеновских диагностических аппаратов с цифровой регистрацией изображений. Номенклатура параметров и характеристик качества изображения, методы и средства их определения. – ВНИИИМТ, 2004.

Александр Павлович Воробьев,
д-р физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник,
Сергей Николаевич Головня,
научный сотрудник,
Сергей Александрович Горохов,
научный сотрудник,
Виктор Валентинович Парахин,
научный сотрудник,
Михаил Константинович Полковников,
научный сотрудник,
ФГБУ ГНЦ ИФВЭ,
г. Протвино, Московская область,

Геннадий Исаакович Айзеништат,
д-р техн. наук,
начальник лаборатории,
Михаил Александрович Лелеков,
канд. техн. наук,
научный сотрудник,
ОАО «НИИ полупроводниковых приборов»,
Ольга Борисовна Корецкая,
инженер,
Виктор Александрович Новиков,
инженер,
Олег Петрович Толбанов,
д-р физ.-мат. наук, профессор,
начальник отдела,
Антон Владимирович Тяжес,
канд. физ.-мат. наук,
начальник лаборатории,
ФГНУ «Сибирский
физико-технический институт»,
г. Томск,
Дмитрий Владиленович Бородин,
канд. техн. наук, инженер,
Юрий Владимирович Осипов,
канд. техн. наук, инженер,
РТК «ИМПЕКС»,
г. Москва,
e-mail: Vorobiev@ihep.ru

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в 22-й Международной выставке «Здравоохранение-2012» – «Здравоохранение, медицинская техника и лекарственные препараты», являющейся ключевым событием научно-практического форума «РОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ».

Место и время проведения выставки:

г. Москва, ЦВК «Экспоцентр».

3-6 декабря 2012 г.: с 10:00 до 18:00;

7 декабря 2012 г.: с 10:00 до 16:00.

Руководитель проекта:

Гуреева Елена Владиславовна

Телефон: +7 (499) 795-39-43; e-mail: gureeva@expocentr.ru

Техническая поддержка он-лайн регистрации посетителей:

тел.: +7 (495) 649-88-10 (с 9:00 до 18:00 по Москве);

e-mail: support@tickets.expocentr.ru