



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2006–2  
ОНФ

А.П. Воробьев, С.Н. Головня, С.А. Горохов, В.В. Паракин, М.К. Полковников  
*ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино*

Г.И. Айзенштат, М.А. Лелеков  
*ОАО "НИИ полупроводниковых приборов", Томск*

О.Б. Корецкая, В.А. Новиков, О.П. Толбанов, А.В. Тяжев  
*ФГНУ "Сибирский физико-технический институт", Томск*

Д.В. Бородин, Ю.В. Осипов  
*РТК ИМПЕКС, Москва*

## МАТРИЧНЫЙ АРСЕНИД-ГАЛЛИЕВЫЙ ДЕТЕКТОР 128Х128 ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕНТГЕНОГРАФИИ

Протвино 2006

## Аннотация

Воробьев А.П. и др. Матричный арсенид-галлиевый детектор 128x128 элементов для рентгенографии: Препринт ИФВЭ 2006–2. – Протвино, 2006. – 9 с., 14 рис., 1 табл., библиогр.: 11.

Представлены первые результаты исследования характеристик полупроводникового матричного детектора на основе арсенида галлия, 128x128 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 для медицинской техники, дефектоскопии неразъёмных соединений и неразрушающего контроля.

## Abstract

Vorobiev A.P. et al. Gallium-Arsenide 128x128 Matrix Detector for Roentgenography: IHEP Preprint 2006–2. – Protvino, 2006. – p. 9, figs. 14, table 1, refs.:11.

This article presents the first results of searching the working properties of the new GaAs – based pixel detector and the readout system to be used as a detector for low and middle energy gamma-rays in the digital medical imaging, X-Ray defectoscopy and non-destructing control systems. The detector pixel size is 50 mkm, and the detector is 128x128 pixels with.

## **Введение**

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 детекторов с многоканальными матричными микросхемами считывания информации. Применение подобных микросборок позволяет покрывать большую площадь и получать изображение исследуемого объекта в режиме реального времени. В настоящей работе описана установка и приведены первые результаты исследования рабочих характеристик микросборки, состоящей из полупроводникового матричного детектора на основе арсенида галлия, 128x128 чувствительных элементов с питчом 50 мкм, соединённого 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].

### **1. 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 128x128 элементов, даёт полный геометрический размер активной площади детектора равный  $6.4 \times 6.4 \text{ mm}^2$ . Толщина рабочей области детектора 430÷450 мкм, что гарантирует 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 ёмкостей при высоких токах детектирующего элемента. Функция "окна" позволяет устанавливать размер и положение опрашиваемой области мультиплексора. Минимальный размер окна 4x4 пикселя может быть увеличен на число кратное 4. Положение окна на поверхности пиксельной матрицы может быть задано с точностью до 4 пикселей. Основные рабочие характеристики мультиплексора представлены в таблице.

Таблица

|   |                            |
|---|----------------------------|
| Формат мультиплексора                         | 128x128                    |
| Размер ячейки, мкм                            | 50x50                      |
| Зарядовая ёмкость, е <sup>-</sup>             | Более 2*10 <sup>7</sup>    |
| Количество выходов                            | 1 (дифференциальный)       |
| Время интегрирования                          | Равно времени чтения кадра |
| Частота вывода сигнала (МГц)                  | Типовая 7                  |
| Максимальная кадровая частота (кГц):          |                            |
| При максимальном размере кадра (128x128)      | 0.5                        |
| При минимальном размере кадра (4x4)           | 250                        |
| Диапазон выходного сигнала (В)                | Более 2                    |
| Рассеиваемая мощность при кадре 128x128 (мВт) | 35                         |

Принцип работы аналогового мультиплексора следующий: при подаче на вход тактовых импульсов от внешнего генератора происходит последовательная выдача накопленной информации в виде уровней напряжения, пропорциональных накопленному на интегрирующей ёмкости заряду. При этом мультиплексор самостоятельно генерирует сигналы начала кадра и начала новой строки, которые могут быть использованы для контроля достоверности передаваемых данных при последующей реконструкции изображения.

Сборка – детектор и аналоговый мультиплексор вместе с согласующей электроникой – размещена на текстолитовой плате, помещённой 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 сторонами 72 °C. С охлаждаемой стороны на элементе Пельтье размещен алюминиевый радиатор, обдуваемый малогабаритным вентилятором постоянного тока. Для свободного прохода воздуха сквозь плату в последней имеются отверстия. 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. Схематически общий вид измерительного бокса приведен на рис. 1.

Контроль внутренней температуры в боксе осуществляется с помощью температурного датчика TMP36, выдающего нормированное по температуре напряжение. Точность поддержания температуры составляет 0.1°C.

## 2. 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 измерения, блока управления выборки – хранения, оптических развязок и преобразователя интерфейсов параллельный код – USB. Микроконтроллер FT-245BM производства фирмы FTDI [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 выключе-

нии 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, соединённый с микроамперметром для контроля величины темнового тока детектора. Блок-схема системы сбора данных представлена на рис. 2.

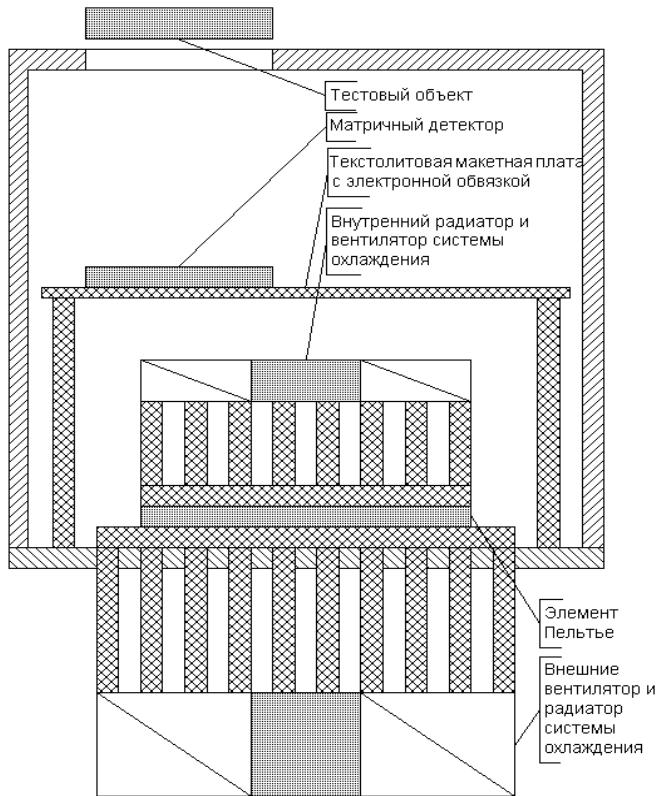


Рис. 1. Схематический рисунок измерительного бокса.

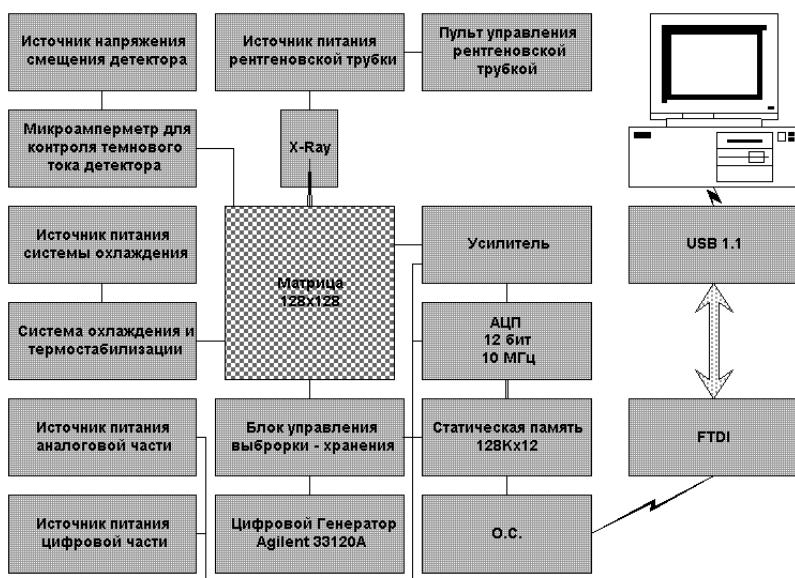


Рис. 2. Блок-схема системы сбора данных.

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 трубы от персонального компьютера.

Система сбора данных размещалась, вместе с матричным детектором, в специально изготовленном металлическом шкафу, обшитом с внутренней стороны свинцовыми плитами для защиты внешней среды от рентгеновского излучения. Система блокировки препятствует включению рентгеновской трубы при открытой дверце шкафа.

### 3. Программное обеспечение

Для чтения и предварительной обработки информации был разработан пакет программного обеспечения MATRIX. Разработка велась в среде программирования LabWindows производства фирмы National Instruments [8]. Вид главного окна программы представлен на рис. 3.

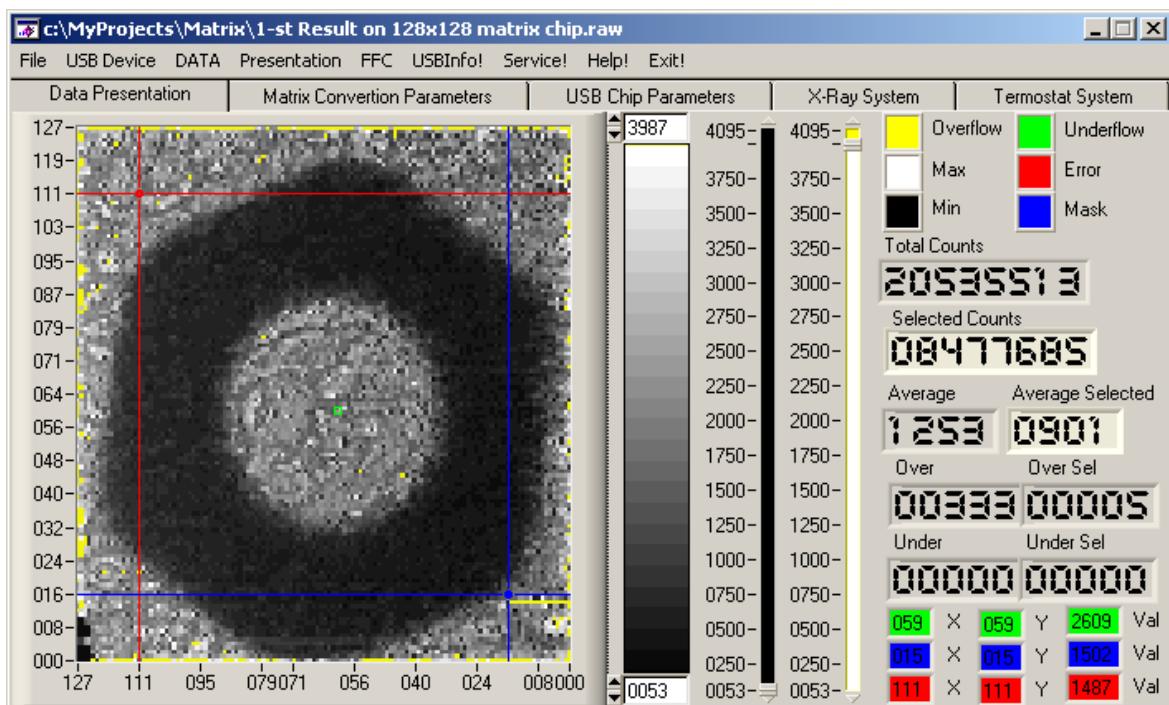


Рис. 3. Вид главного окна программного пакета чтения данных и предварительной обработки.

Элементы управления программы MATRIX состоят из верхнего контекстного меню и пяти субменю, каждое из которых отвечает за определённую функцию, а именно: графическое представление измеренных либо загруженных с диска данных, параметры коррекции изображения и полноэкранного сглаживания, текущие параметры контроллера последовательной шины USB, управление рентгеновской трубкой – анодным напряжением и током, и управление системой термостабилизации с заданием рабочей температуры и допуска на её поддержание. Программа позволяет подключиться к USB-устройству, прочитать накопленные данные, просмотреть их на экране компьютера и сохранить их на жёстком диске. Взаимодействие с микроконтроллером FT-245BM происходит через специализированный драйвер с интерфейсом программирования

FTD2XX. При получении изображений низкоконтрастных предметов использовалось 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  $\Phi$  – масштабный коэффициент, зависящий он 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. Всё вместе это повышает удобство работы с программой.

#### 4. Полученные результаты

##### *Наблюдение тестовых объектов*

Первый практический результат, полученный на исследуемой системе – изображение металлической гайки М3, установленной на детекторе, – представлен на рис. 3. Высокий контраст между металлом и воздухом позволил увидеть изображение предмета без какой-либо дополнительной обработки. В дальнейшем увидеть структуру средне- и малоконтрастных объектов удавалось только после дополнительной математической обработки. На рис. 4. представлено изображение внутренней структуры операционного усилителя KP574УД2А. При внимательном рассмотрении видны тонкие проводники, соединяющие полупроводниковый кристалл и внешние металлические выводы. На рис. 5. показано изображение от тестового объекта – набора металлических (Fe) проволок толщиной 63 и 50 мкм. Металлические проволоки, имеющие высокую контрастность, ясно выделяются на общем фоне. На рис. 6. представлено изображение части мухи, являющейся хорошим образцом низкоконтрастного объекта. Видны контуры тела насекомого, лапки и хитиновый панцирь.

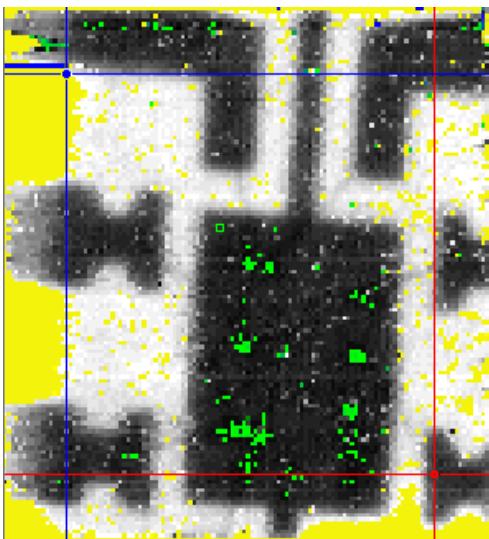


Рис. 4. Изображение внутренней структуры операционного усилителя.

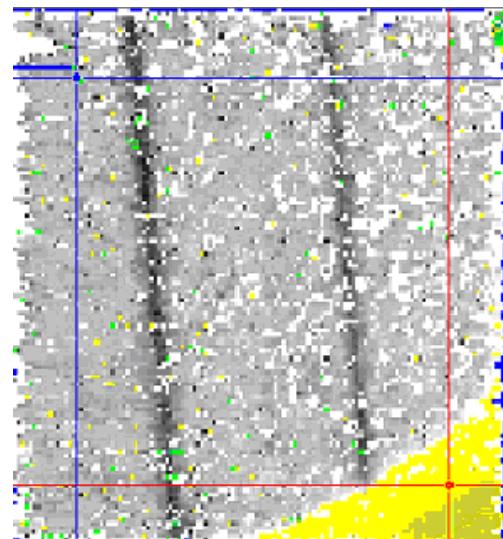


Рис. 5. Изображение тестового объекта – набора двух проволок 63 и 50 мкм.

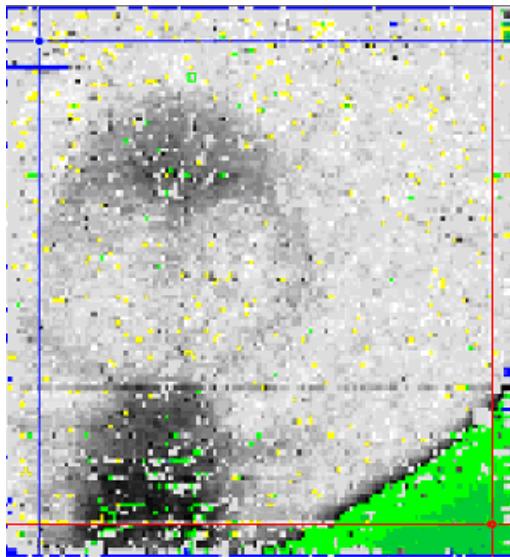


Рис. 6. Изображение части насекомого – мухи.

#### *Измерение пространственного разрешения*

Измерение пространственного разрешения детектора было проведено с использованием стандартной миры с набором 10, 9, 8, 5.5, 3.1 пар линий на мм. Результаты измерения пространственного разрешения представлены на рис. 7–10, соответственно миры 5.5, 8, 9, 10. Изображение линий от миры 3.1 пар линий на мм ясно различается и не представляет интереса. К сожалению, малые размеры активной площади детектора не позволили представить на одном рисунке одновременно изображение миры и её номер.

Как уже упоминалось ранее, питч детектора равен 50 мкм, поэтому естественно ожидание получить пространственное разрешение равное 10 парам линий на миллиметр. Но реальное изображение миры 10 пар линий (рис. 10) показывает, что оно не достигается. Одной из возможных причин этого может быть деление заряда между несколькими пикселями детектора.

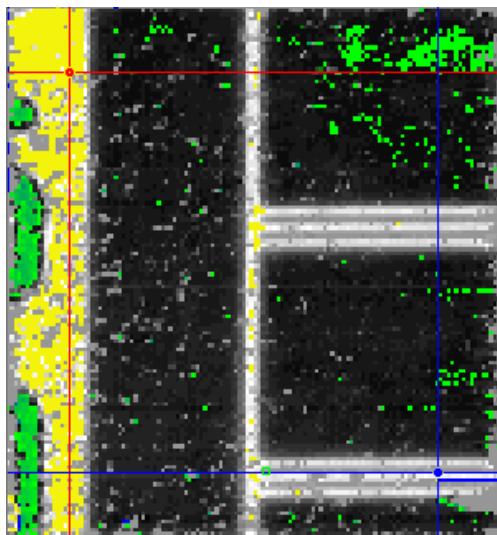


Рис. 7. Изображение миры 5,5 п.л. на мм.

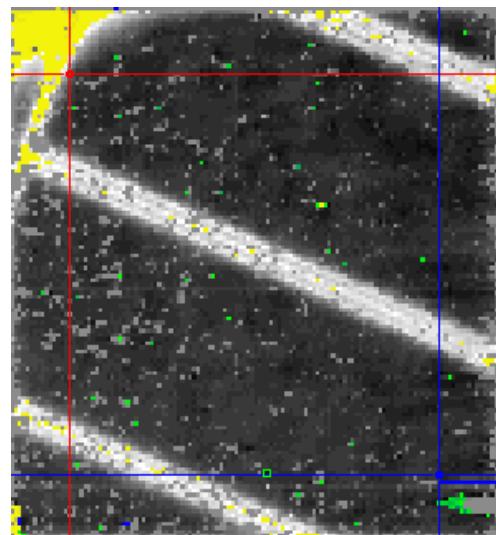


Рис. 8. Изображение миры 8 п.л. на мм.

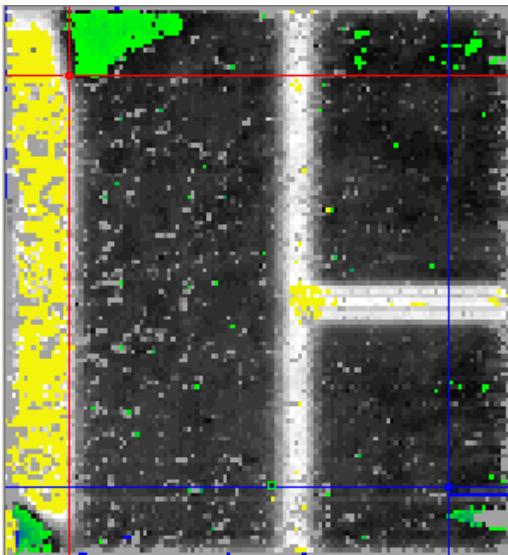


Рис. 9. Изображение миры 9 п.л. на мм.

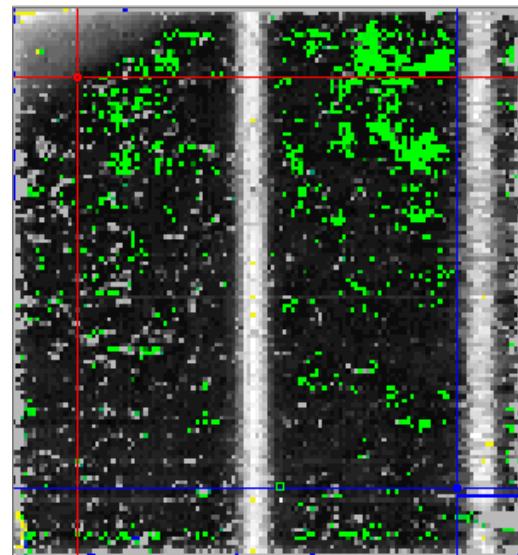


Рис. 10. Изображение миры 10 п.л. на мм.

### *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 даёт непосредственно величину контраста. В процессе измерения тестовый объект располагался над поверхностью детектора и накрывался 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 алюминиевых образцов различной формы (круглой, квадратной, треугольной), заключённый между тонкими пластинаами из органического стекла. Основным фильтром также служил полированный бруск из особо чистого ( $>99.99\%$ ) алюминия. При измерении предельной контрастной чувствительности анодное напряжение было установлено равным 70 КэВ, а анодный ток – 7 мА, расстояние между тестовым объектом и фокусом рентгеновской трубки составляло 0,5 м, согласно порядку проведения измерений, изложенных в документе "Стандарт Предприятия" 01 – 22 – 04 [9], регламентирующему проведение тестовых измерений для цифровых медицинских систем. Полученные результаты представлены на рис. 11–13 соответственно для объектов 1.5; 1 и 0.5 % контрастной чувствительности.

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

## 5. Заключение

Представленные результаты – лишь первые шаги на пути внедрения цифровых бесплёночных систем радиографии в практику. Предстоит решить ещё 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.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований [10] и ИНТАС [11].

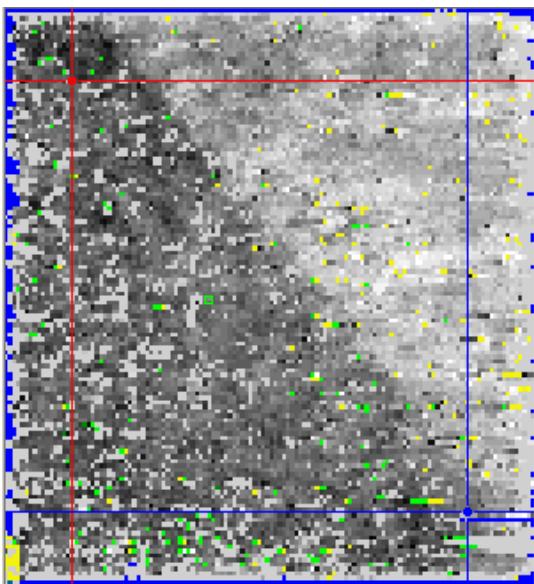


Рис. 11. Тестовый объект 1,5% контрастной чувствительности.

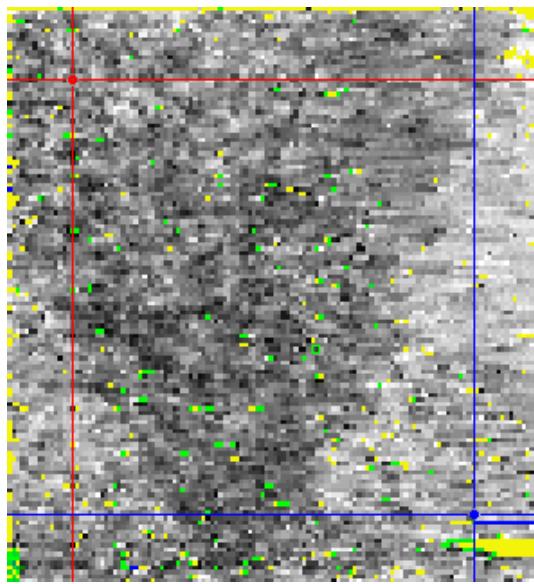


Рис. 12. Тестовый объект 1% контрастной чувствительности.

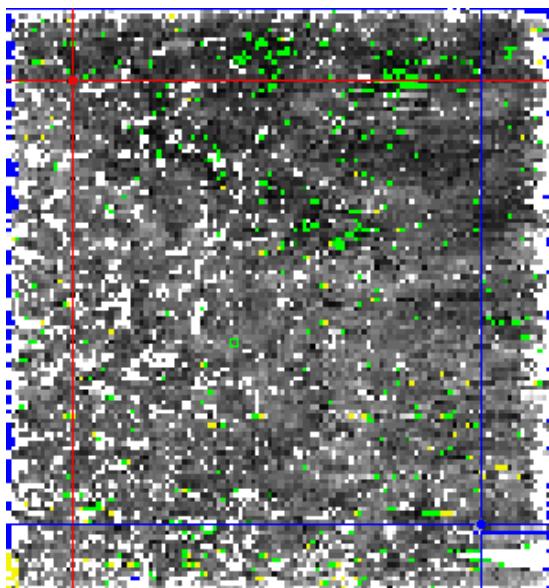


Рис. 13. Тестовый объект 0,5% контрастной чувствительности.

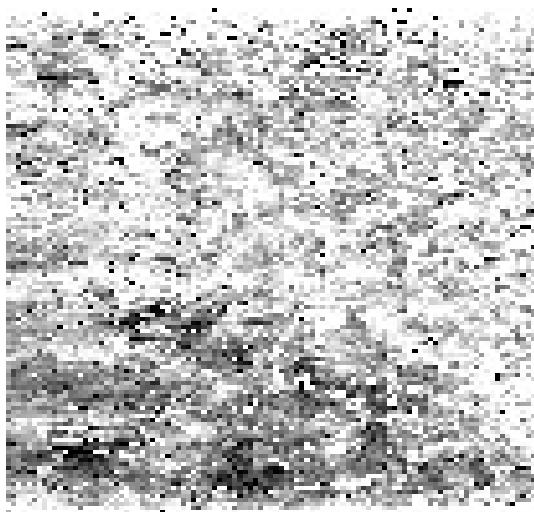


Рис. 14. Тестовый объект 0,5% контрастной чувствительности после обработки специализированным пакетом.

## **Список литературы**

- [1] Бородин Д.В., Осипов Ю.В. Матричный мультиплексор с кадровым накоплением для фотоприемных устройств // Прикладная физика. 2003. № 6. С. 98 – 99.
- [2] Институт физики высоких энергий – (ГНЦ ИФВЭ) [WWW.IHEP.SU](http://WWW.IHEP.SU)
- [3] Воробьёв А.П., Головня С.Н., Горохов С.А. и др. GaAs-детекторы для медицинской рентгенографии. // Новые промышленные технологии. № 2, 2005, с. 49.
- [4] A.V. Tyazhev, D.L. Budnitsky, O.B. Koretskaya, A.I. Potapov, O.P. Tolbanov, L.S. Okaevich, V.A. Novikov, A.P. Vorobiev. GaAs radiation imaging detectors with active layer thickness up to 1 mm. // Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res., v. 509 (2003), p. 34-39.
- [5] Г.И. Айзенштат, Е.Н. Ардашев, А.П. Воробьев, А.И. Иващенко, О.Б. Корецкая, О.П. Толбанов, А.В. Тяжев, А.В. Хан. GaAs-детекторы изображений в рентгеновских лучах. // Электронная промышленность. 2002. № 2/3, с. 32-36.
- [6] Future Technology Devices International Limited [WWW.FTDICCHIP.COM](http://WWW.FTDICCHIP.COM)
- [7] Всероссийский НИИ автоматики им. Н.Л. Духова [WWW.VNIIA.RU](http://WWW.VNIIA.RU)
- [8] National Instruments Co, [WWW.NI.COM](http://WWW.NI.COM)
- [9] "Стандарт Предприятия" 01 – 22 – 04. ВНИИИМТ, 2004 г. – "Приемники рентгеновского излучения рентгеновских диагностических аппаратов с цифровой регистрацией изображений. Номенклатура параметров и характеристики качества изображения, методы и средства их определения".
- [10] [WWW.RFBR.RU](http://WWW.RFBR.RU)
- [11] [WWW.INTAS.BE](http://WWW.INTAS.BE)

*Рукопись поступила 26 января 2006 г.*

А.П. Воробьев и др.

Матричный арсенид-галлиевый детектор 128x128 элементов для рентгенографии.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы *Word*.

Редактор Л.Ф. Васильева.

---

Подписано к печати 06.02.2006. Формат 60 × 84/8. Офсетная печать.  
Печ.л. 1,375. Уч.-изд.л. 1,1. Тираж 90. Заказ 34. Индекс 3649.  
ЛР №020498 от 17.04.97.

---

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий,  
142281, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

---

ПРЕПРИНТ 2006-2, ИФВЭ, 2006

---