



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2012–21
ЛДС

Е.Н. Ардашев, А.П. Воробьев, С.А. Горохов,
М.К. Полковников

Настройка и характеристики линейки GaAs детекторов рентгеновского сканера

Направлено в журнал *"Медицинская физика"*

Протвино 2012

Аннотация

Ардашев Е.Н. и др. Настройка и характеристики линейки GaAs детекторов рентгеновского сканера: Препринт ИФВЭ 2012–21. – Протвино, 2012. – 11 с., 9 рис., библиогр.: 7.

Проведены измерения оптимальных параметров работы рентгеновского сканера с микрополосковыми GaAs детекторами, отработаны процедуры первоначальной калибровки и выравнивания чувствительности сканера к рентгеновскому излучению. Произведена оценка пространственного разрешения, контраста и динамического диапазона сканера. Полученные результаты превосходят данные рентгеновского сканера с пиксельными GaAs детекторами.

Abstract

Ardashev E.N. et al. Adjustment and Characteristics of Linear Array GaAs Detector of The X-ray Scanner: IHEP Preprint 2012–21. – Protvino, 2012. – p. 11, figs. 9, refs.: 7.

The measurement of the optimal working conditions of the X-ray scanner with micro strip GaAs detectors was done and the procedures of primary detector's array signal lining and post-process adjustment of the sensitivity to the X-ray flux were developed. There were estimated several X-ray detector parameters such as: the spatial resolution, the contrast and the dynamic range. Results are better than one obtained from the previous X-ray scanner with linear array of GaAs pad detectors.

Введение

В ГНЦ ИФВЭ ведется разработка линеек полупроводниковых детекторов из арсенида галлия (GaAs) для рентгенографических аппаратов сканирующего типа [1], [2]. В работе [3] представлены результаты разработки аппарата с линейкой падовых GaAs детекторов с размером пада 200x200 мкм² и толщиной активной области 700 мкм, ориентированной перпендикулярно потоку рентгеновского излучения (т.е. поток направлен перпендикулярно электродам детектора). На этой системе отрабатывались процедуры управления сканером, калибровки детекторов, синхронизации и сбора данных. В настоящей работе приводятся результаты разработки линейки микрополосковых GaAs детекторов, с длиной полоски 2 мм и толщиной чувствительной области 200 мкм. Поток рентгеновского излучения в этой линейке направлен вдоль полосок (т.е. вдоль электродов детектора). Новая конструкция обеспечивает большую толщину материала детектора, через которую проходит поток рентгеновского излучения, поэтому ожидается улучшение характеристик рентгеновского изображения.

Конструкция детекторной сборки

Линейка GaAs детекторов состоит из ряда сборок. На рис. 1 показана схема одной сборки (детектирующего модуля), состоящей из 128 микрополосковых детекторов с питчем 200 мкм (т.е. общей длиной 2,56 мм) и высотой 2 мм. Чувствительным материалом детекторов является полуизолирующий арсенид галлия резистивного типа легиро-

ванный хромом [4]. При облучении потоком рентгеновского излучения в детекторах начинает течь ток, который совместно с токами интегрирующего чипа формирует итоговый выходной сигнал.

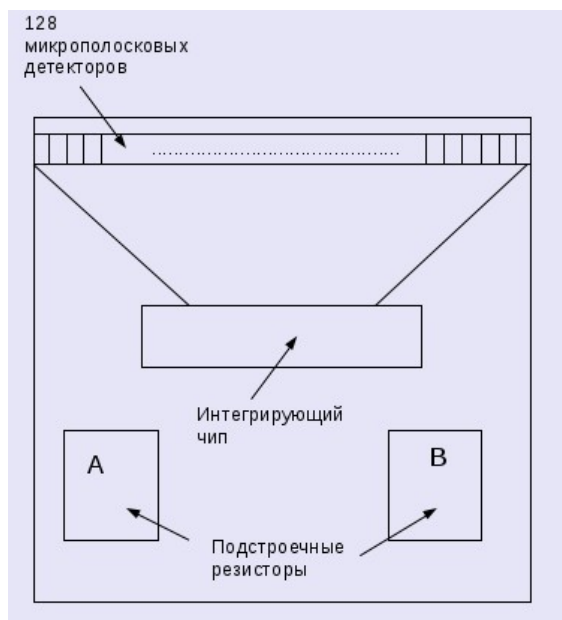


Рис. 1. Схематичное изображение основных элементов детектирующей сборки.

Интегрирующий чип HLN76 [5] содержит 128 каналов интегрирования входного тока с управляемой компенсацией, аналоговый мультиплексор и схемы управления компенсацией темнового тока и мультиплексором. Схема компенсации темнового тока каждого канала содержит 8-разрядный регистр, в который записывается цифровой код от 0 до 255 для индивидуальной подстройки сигнала. Токи из детектора и чипа поступают в интегрирующую RC-цепь и мультиплексор формирует последовательность сигналов (напряжений) с детекторов для их последующей оцифровки. Подстроечные резисторы осуществляют управление токами чипа.

Резистор «А» осуществляет регулировку тока при отсутствии излучения, т. е. задает начальный уровень сигнала всех 128 микрополосковых детекторов в пределах от 0 В до +2 В. Номинал выходного напряжения, устанавливаемый на резисторе, может меняться от +0,3 В до +0,7 В (чем больше напряжение, тем выше средний уровень сигнала).

Резистор «В» регулирует ток компенсации, который можно изменять на программном уровне. Номинал выходного напряжения, устанавливаемый на резисторе от +3,5 В до +4,7 В. Зависимость сигнала на выходе из чипа для одного микрополоскового детектора можно описать формулой

$$I = I_d + I_A - x \cdot I_B, \quad (1)$$

где I — сигнал на выходе из чипа, I_d — вклад тока детектора, I_A — вклад резистора А, I_B — вклад резистора В, x — величина, пропорциональная коду индивидуальной подстройки детектора.

На рис. 2 показана фотография линейки GaAs детекторов, состоящей из 16 сборок, расположенных в ряд так, что микрополосковые детекторы образуют прямую линию. Т.е. в линейке имеется 2048 чувствительных элементов – детекторов и её длина составляет 40,96 см.

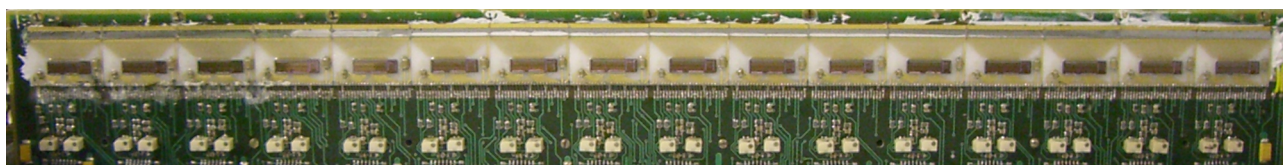


Рис. 2. Детектирующая линейка.

Настройка детекторов на рабочий режим

Основные параметры, регулируемые при настройке детекторов: частота оцифровки (время интегрирования), емкость конденсатора в интегрирующей цепочке, напряжения на подстроечных резисторах, напряжение на детекторе, температура детекторов.

1. Частота оцифровки сигналов (F) для одной сборки может устанавливаться в пределах от 200 кГц до 5 МГц. Величина оптимальной частоты выбирается, из расчета отсутствия сильных отклонений амплитуд сигналов детекторов, относительно выбранного среднего уровня и времени заполнения буферной памяти сканера. Т.к. в линейке используется 16 сборок, то суммарная частота генератора равна $F \cdot 16$. При объеме статической памяти системы оцифровки равной 32 МБ, для получения изображения максимально высокого качества, частота выбиралась таким образом, чтобы за время сканирования заполнялся весь ее объем. При времени сканирования 4 секунды частота считывания, подаваемая на линейку детекторов, составляет 19 МГц.

2. Емкости конденсаторов в RC цепочке для каждой сборки имеют фиксированные номиналы: 1,0 пФ, 2,5 пФ, 3,5 пФ, 6,0 пФ, 7,0 пФ, 8,5 пФ и 9,5 пФ. Для всех сборок в линейке устанавливается одно значение емкости. При измерениях низкоконтрастных объектов устанавливается емкость 2,5 пФ, а для высококонтрастных 8,5 пФ или 9,5 пФ, чтобы обеспечить приём всего диапазона амплитуд.

3. Напряжение на детекторе задаёт его чувствительность к рентгеновскому излучению — чем больше значение напряжения, тем больше чувствительность детектора, но и больше темновой ток и шум детектора. Пределы возможного регулирования напряжения от 10 В до 100 В. Измерения амплитуд сигналов, при постоянных параметрах рентгеновского излучателя (анодное напряжение 70 кВ, экспозиция 40 мА·с, анодный ток 30 мА) и системы сбора данных (емкость 7 пФ, частота 19 МГц), позволили определить оптимальный диапазон напряжений от 60 В до 90 В, где сигнал практически достигает насыщения. На рис. 3 показана зависимость счетов АЦП для одной из сборок при значениях напряжения на детекторе: 8 В, 25 В, 50 В, 70 В и 90 В. Уровень пьедесталов установлен в 1000 отсчётов 14-разрядного АЦП.

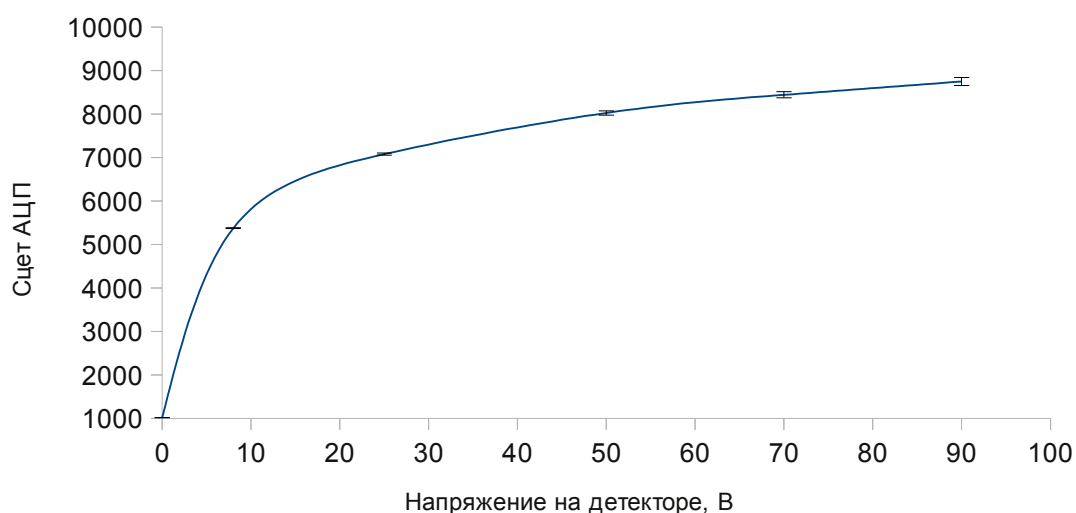


Рис. 3. Зависимость счета АЦП для одного детектора от напряжения.

4. Температура, при которой работают детекторы, определяет уровень их шумов и разброс начальных амплитуд сигналов детекторов. При понижении температуры происходит уменьшение шумов и сглаживается неоднородность амплитуд. Оптимальная средняя рабочая температура детектора находится в диапазоне от $+3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+8,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, при этом точность ее стабилизации, относительно выбранной средней температуры должна быть не хуже $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Например, средний уровень шумового сигнала и его дисперсия уменьшается в 5 раз при охлаждении с $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Предварительная обработка сигнала детектора

В связи с тем, что каждый микрополосковый детектор со своим каналом интегрирующего чипа, по технологическим причинам, имеет отличный от других детекторов пьедестальный сигнал (сигнал детектора без рентгеновского излучения), то необходимо выполнить первичное выравнивание пьедесталов. Для этого, при первичной настройке линейки GaAs детекторов, устанавливается рабочий режим всех сборок со следующими параметрами: частота генератора 19 МГц, напряжение на детекторе 70 В, температура детекторов $+6,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, номинал интегрирующей емкости 6,0 пФ.

Номинал напряжений на подстроечных резисторах подбирается следующим образом. На подстроечном резисторе А устанавливается напряжение в $+0,5\text{ В}$, на резисторе В — напряжение в $+4,2\text{ В}$. После стабилизации температуры детекторов проверяются величины граничных значений пьедесталов. При записи цифрового кода «0» во все чипы, в соответствии с формулой 1, амплитуда должна быть $+2\text{ В}$, а при записи значения «255», 0 В . В случае если сигнал с каких-то детекторов при записи значения «255» не достигает 0 В , то необходимо либо увеличить уровень начального тока при подстройке (резистор В), либо опустить средний уровень сигнала (резистор А). В случае если сигнал с каких-то детекторов при записи значения «0» не достигает $+2\text{ В}$, необходимо поднять средний уровень сигнала (резистор А).

Процедура выравнивания пьедесталов выполняется программным образом и заключается в математическом подборе значений подстроечных коэффициентов в зависимости от уровня среднего сигнала. На рис. 4 показаны осциллограммы пьедесталов

одного модуля до и после выравнивания. Данная процедура производится для всех сборок и в результате пьедестальные значения выравниваются к одной величине.

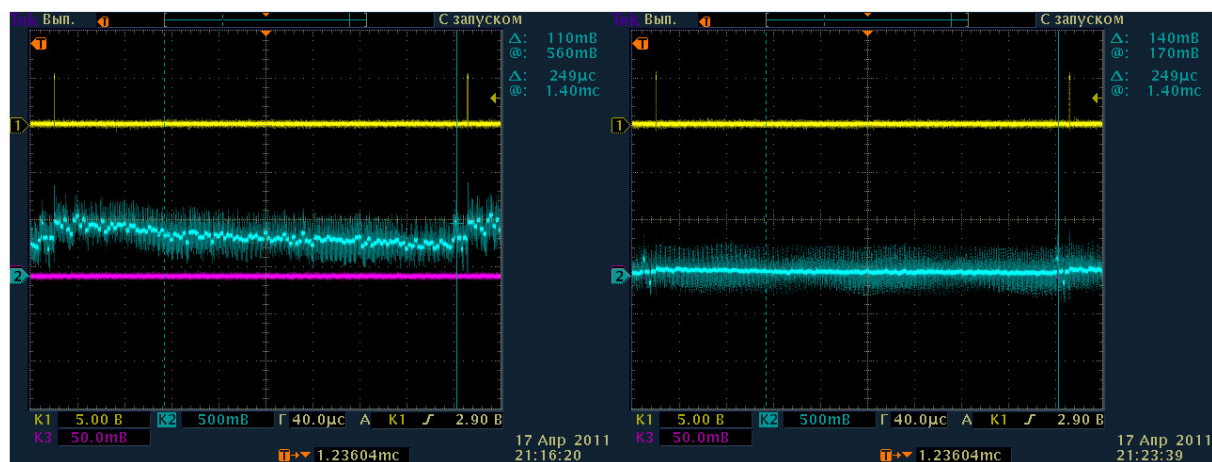


Рис. 4. Осциллограммы сигнала одной сборки до (слева) и после (справа) выравнивания. Синим цветом показаны пьедестальные сигналы 128 каналов при параметрах сканера: частота считывания 19 МГц, температура +5,0 °C, напряжение на детекторе 70 В, интегрирующая емкость 3,5 пФ.

Калибровка чувствительности детекторов

Перед каждой работой детекторов под рентгеновским излучением выполняется процедура выравнивания их чувствительности к рентгеновскому излучению. Т.к. чувствительность каждого отдельного микрополоскового детектора к излучению различна (из-за множества факторов), то выходной сигнал при равномерной засветке потоком рентгеновского излучения всех детекторов имеет форму ломаной линии. Изображение объекта, при этом, получается состоящим из отдельных горизонтальных, либо вертикальных линий. Для компенсации подобного эффекта выполняется процедура калибровки детекторов, которая заключается в приведении передаточных характеристик чувствительности в рентгеновскому излучению всех 2048 детекторов к одному опорному уровню. Подобный алгоритм применяется также для выравнивания данных с кремниевых микрополосковых детекторов [6]. На рис. 5 представлен пример изображения объектов до и после калибровки.

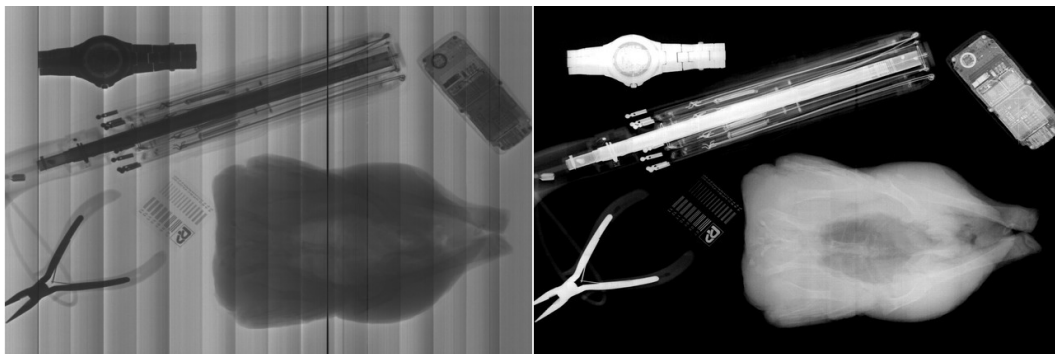


Рис. 5. Пример изображения до и после калибровки детекторов.

Оценка качества цифровых изображений, полученных с линейкой GaAs детекторов

Для оценки качества цифровых рентгенографических изображений (и соответственно цифрового детектора) существует несколько основных параметров, измеряемых при помощи специальных мир и шаблонов. К таким параметрам относятся: пространственное разрешение, порог контрастной чувствительности, динамический диапазон. В соответствии со стандартом, разработанным ВНИИИМТ, измерения проводились на следующих элементах: шаблоне контрастной чувствительности (ТЧК-1), мире пространственного разрешения и шаблоне динамического диапазона (КДД-1) [7]. На рис. 6 показан стенд, на котором производились измерения с использованием медицинского рентгеновского аппарата DIG-360 фирмы DONGMUN Co., Ltd. Размер сканируемой области составил 40х33 см².

Пространственное разрешение

Физический размер чувствительной площади детектора в плоскости сканирования равен 200х200 мкм², что соответствует пространственному разрешению в 2,5 пар линий на мм. На рис. 7 представлены изображения мир под разными углами по отношению к направлению сканирования. Сканирование производилось сверху вниз при напряжении на рентгеновском излучателе 70 кВ и экспозиции 100 мА·с.



Рис. 6. Измерительный стенд с рентгеновским источником (вверху), движущимся по направляющим синхронно со сканером (внизу).

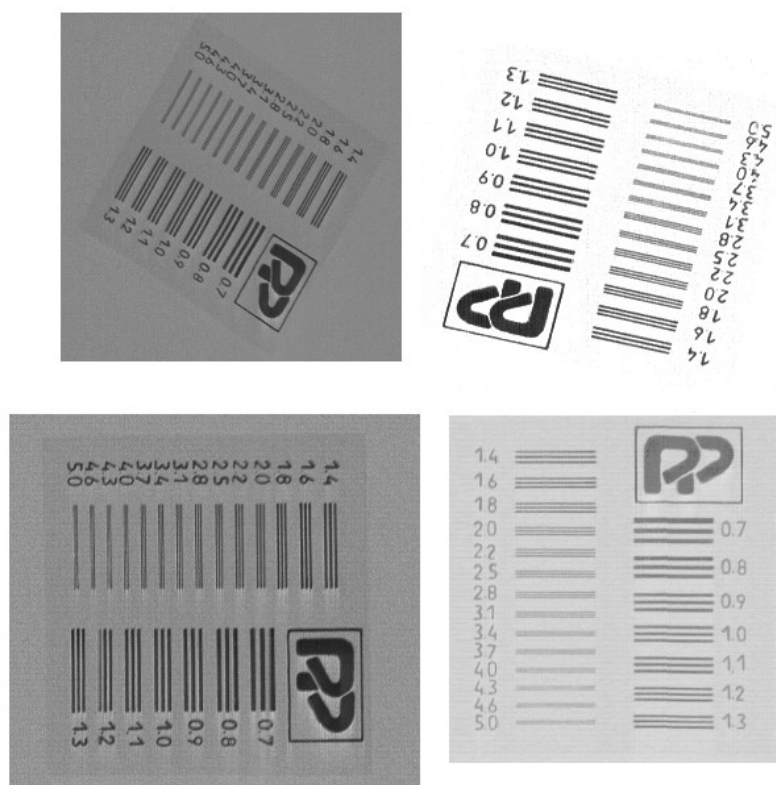


Рис. 7. Изображение мира пространственного разрешения под разными углами относительно направления сканирования.

Контраст

В соответствии с методикой измерение контрастной чувствительности режим рентгеновского аппарата следующий: анодное напряжение 70 кВ, экспозиция 100 мА·с, время сканирования 4 с, фокусное расстояние 95 см. Экспозиция проводилась при раскрытии затвора на рентгеновском аппарате - 2 см. Толщина ослабляющего алюминиевого фильтра – 20 мм, что для напряжения 70 кВ равно ослаблению потока примерно в 10 раз. Тестовый объект представляет собой компакт-диск с вклеенными в него кружочками из алюминиевой фольги различной толщины. Контраст кружочков по отношению к 20-миллиметровому фильтру: 3,5%, 2%, 1,5%, 1%, 0,5%. На рис. 8 показан результат сканирования тестового объекта ТЧК-1 путём перемещения объекта при неподвижной рентгеновской трубке и неподвижной линейке.

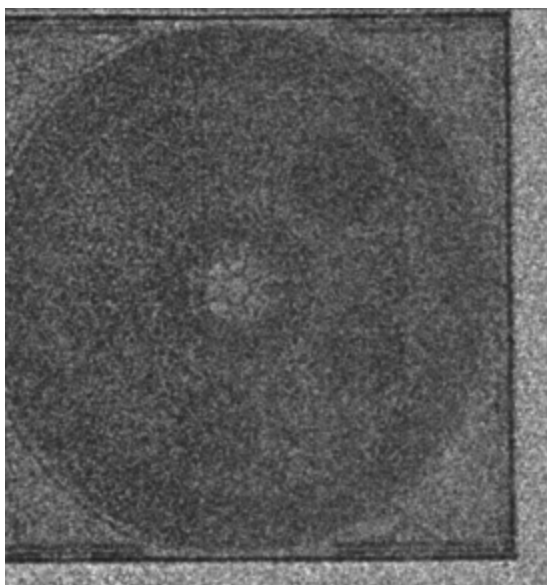


Рис. 8. Изображение шаблона контрастной чувствительности.

Динамический диапазон

Параметры рентгеновского излучателя при измерении динамического диапазона: анодное напряжение 90 кВ, экспозиция 80 мА·с, время сканирования 4 с, фокусное расстояние 95 см. Экспозиция проводилась при раскрытии затвора на рентгеновском аппарате в 2 см. Тестовый объект КДД-1 представляет собой медные элементы различной толщины с квадратными включениями. Динамический диапазон по отношению

к центральному элементу: 50, 100, 200, 300. На рис. 9 показан результат сканирования тестового объекта с элементом динамического диапазона в 100 единиц.

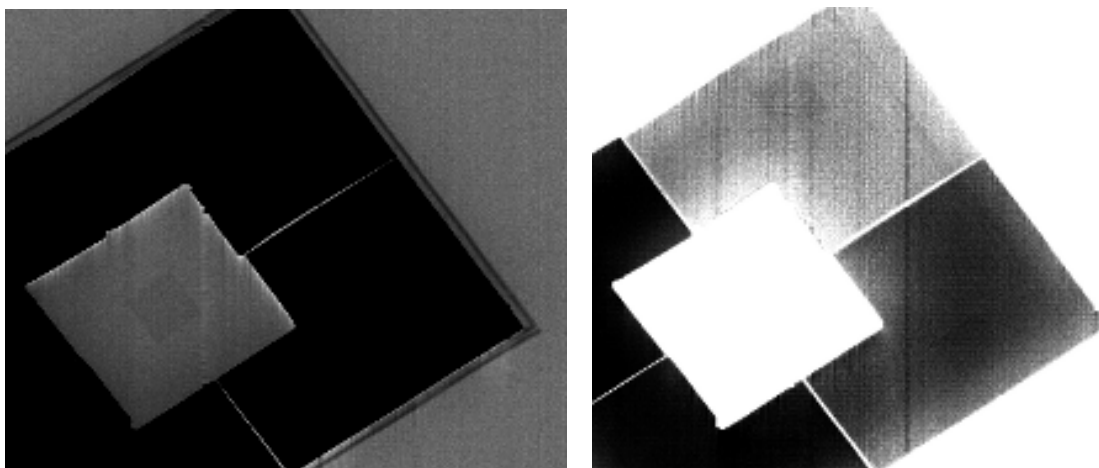


Рис. 9. Изображение шаблона динамического диапазона. Слева центральная область с динамическим диапазоном 1. Справа области с диапазонами в 50 и 100.

Заключение

В работе представлены процедуры настройки и результаты тестирования линейки микрополосковых GaAs детекторов, разработанной для рентгеновских аппаратов сканирующего типа. Показано, что такая линейка, длиной ~40 см, может обеспечить пространственное разрешение до 2,5 пар линий на мм, контрастную чувствительность не хуже 1% и динамический диапазон выше 100. По этим параметрам линейка микрополосковых детекторов превосходит ранее полученные результаты [3] с линейкой падовых детекторов.

Список литературы

- [1] А.П. Воробьев, Журнал ИФВЭ (www.iher.ru) «Новости и проблемы фундаментальной физики», №2(2) 2008, с. 15.
- [2] А.П. Воробьев, С.А. Горохов, С.Н. Головня, М.К. Полковников, Ю.В. Роднов, Г.И. Айзенштат, О.П. Толбанов, Д.В. Бородин, Ю.В. Осипов, Журнал Прикладная физика №3 (2009) с.132-137.

- [3] E.N. Ardashev, S.A. Gorokhov, M.K. Polkovnikov et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 648 (2011) S8–S11.
- [4] A.V. Tyazhev, D.L. Budnitsky, O.B. Koretskay et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 509 (2003) 34-39.
- [5] Д.В. Бородин, Ю.В. Осипов, Н.А. Шушкевич, А.А. Лопухин, Прикладная физика, №1 (2003) с. 154.
- [6] G.J. Royle, A. Papanestis, R.D. Speller et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 493 (2002) 176-188.
- [7] "Стандарт Предприятия" 01 – 22 – 04. ВНИИИМТ, 2004. – "Приемники рентгеновского излучения рентгеновских диагностических аппаратов с цифровой регистрацией изображений. Номенклатура параметров и характеристик качества изображения, методы и средства их определения".

Рукопись поступила 16 ноября 2012 г.

Е.Н. Ардашев и др.

Настройка и характеристики линейки GaAs детекторов рентгеновского сканера.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати	27.11.2012.	Формат 60 × 84/16.	Цифровая печать.
Печ.л.	0, 94.	Уч.— изд.л.	1,25.
Тираж	80.	Заказ	59.
Индекс	3649.		

ФГБУ ГНЦ ИФВЭ
142281, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2012-21, ИФВЭ, 2012
