

## ИССЛЕДОВАНИЕ CdTe-ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ

В. П. Карпенко, О. А. Матвеев

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук,  
194021, Санкт-Петербург, Россия  
(Получена 24 июня 1993 г. Принята к печати 28 июня 1993 г.)

Приведены результаты исследования характеристик МПМ структур на основе полуизолирующих кристаллов теллурида кадмия непосредственно при получении томограмм. Показано, что детекторы на основе теллурида кадмия пригодны для использования в системах вычислительной рентгеновской томографии.

В работах [1-6] показана перспективность CdTe-детекторов для вычислительной рентгеновской томографии на основании изучения каждой из многих томографических характеристик детекторов и определения их предельных статистических величин. В данной работе приводятся результаты по исследованию этих детекторов непосредственно при получении томограмм, т. е. в рабочих условиях, когда одновременно все характеристики детектора участвуют в многочисленных локальных измерениях интенсивностей рентгеновского потока. Точность этих измерений определяет качество томограммы.

Исследование основных факторов, определяющих контрастность и пространственное разрешение реконструированного изображения, проводили на макете томографа первого поколения с одиночным детектором.

Детектор представлял собой структуру металл—полупроводник—металл на основе полуизолирующих кристаллов CdTe с удельным сопротивлением  $\sim 10^{10}$  Ом·см. Инжектирующие константы наносились на противоположные (большие) плоскости параллелепипеда с размерами  $2 \times 2 \times 10$  мм. Структура включалась в режиме двойной инъекции носителей заряда, при напряжении смещения  $V_g \sim 50$  В темновой ток составлял  $4 \cdot 10^{-9}$  А. Рентгеновский поток направлялся перпендикулярно электрическому полю в детекторе, т. е. осуществлялся так называемый режим поперечной фотопроводимости [1]. Все основные томографические характеристики таких детекторов описаны в работе [3].

В томографическом стенде на детектор поступал непрерывный коллимированный рентгеновский поток при линейно-поступательном движении исследуемого объекта (фантома) и угловом повороте его на один градус после набора информации при фиксированном угле в каждой проекции. При этом стабильность рентгеновского потока излучения отслеживалась мониторным детектором.

Проекция состояла из 128 отсчетов точек каждая длительностью 20 мс. Импульс фототока детектора такой длительности при скважности 2 мс формировался электронными ключами после усиления его операционным усилителем постоянного тока. Интеграл импульса тока определялся путем измерения его серией коротких стробирующих импульсов (400 импульсов). Величина измеренного заряда в каждой точке проекции поступала в оцифрованном виде в

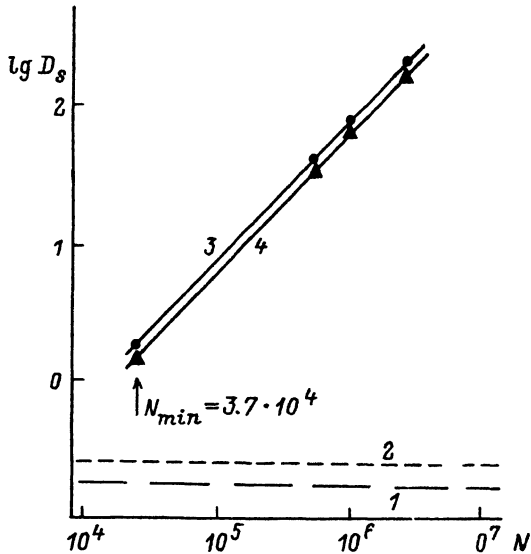


Рис. 1. Зависимость дисперсии  $D_s$  интеграла выходного сигнала за время 20 мс от интенсивности потока рентгеновского излучения  $N$  (квантов на детектор): 1 — измерительная установка, 2 — детектор без возбуждения при рабочем напряжении 50 В, 3 — детектор при рентгеновском возбуждении, 4 — расчетная кривая дисперсии излучения потока квантов рентгеновской трубки, приведенная к измеряемым величинам.

память компьютера для дальнейшего восстановления изображения (томограммы). Полное число единичных измерений составляло  $128 \times 360$ .

Шумовые характеристики томографического стенда и CdTe-детектора при различных уровнях рентгеновского возбуждения приведены на рис. 1. Видно, что шум измерительного тракта (кривая 1) и шум темнового тока детектора (кривая 2) в 3–5 раз меньше, чем шум сигнала детектора при минимальном рентгеновском потоке  $N_{min} = 4 \cdot 10^4$  квантов/детектор (кривая 3). Расчетная зависимость дисперсии излучения рентгеновской трубки от потока квантов представлена кривой 4. Видно, что дисперсия сигнала ( $D_s$ ) незначительно превышает величину дисперсии потока квантов рентгеновской трубки и обеспечивает даже при минимальном потоке квантов точность единичного измерения 0.5% ( $\sqrt{D_s}/V_g$ ).

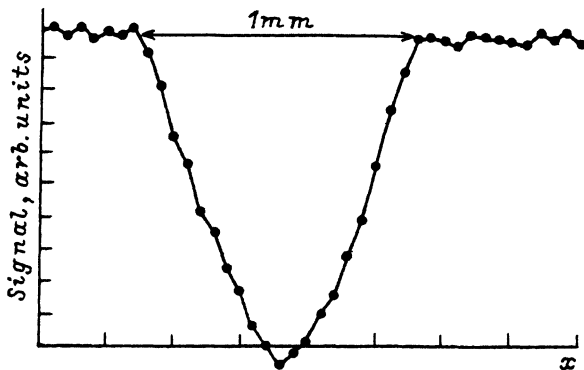


Рис. 2. Изменение выходного сигнала детектора при сканировании объекта диаметром  $d = 1$  мм ( $x$  — координата).



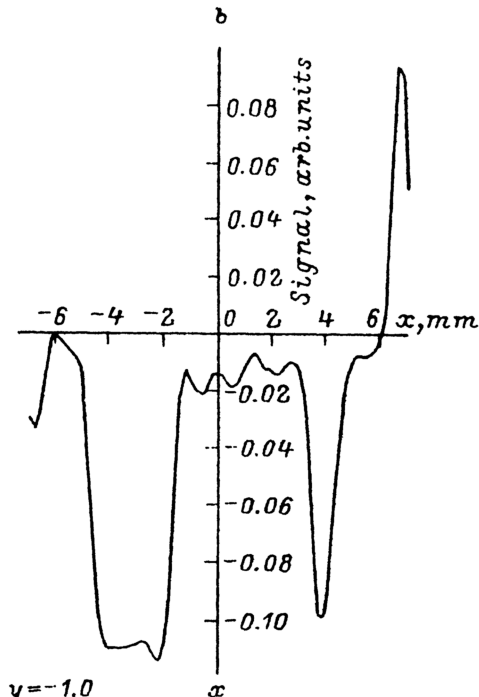


Рис. 4. *a* — томограмма неоднородного фантома (Al,  $d = 30$  мм со вставками из оргстекла  $d_1 = 10$  мм,  $d_2 = 3$  мм), *b* — профиль реконструированных величин коэффициента линейного ослабления по оси  $x$  при  $y = -1.0$  томограммы.

При этом необходимо отметить, что снимаемый сигнал с CdTe-детектора в  $10 \div 20$  раз превышает сигнал от традиционно используемого комбинированного детектора сцинтиллятор—фотодиод.

Влияние кинетических характеристик детектора на реконструированное изображение можно оценить из амплитуд сигнала при линейном сканировании объекта малого размера (стальной стержень диаметром  $d = 1$  мм). Как видно из рис. 2, передний и задний фронты сигнала сканирования симметричны, что свидетельствует о достоверной передаче детектором геометрических пропорций объекта.

Томограммы однородного фантома (алюминиевый цилиндр диаметром  $d = 30$  мм) и неоднородного (алюминиевый цилиндр диаметром  $d = 30$  мм с цилиндрическими вставками из оргстекла диаметрами  $d_1 = 10$  и  $d_2 = 3$  мм) показаны на рис. 3, *a*, 4, *a*. Реконструированные изображения соответствуют исследуемым объектам. По внешнему диаметру цилиндра в томограмме наблюдаются темное и светлое полукольца, которые вызваны погрешностью центрирования объекта исследования в зоне сканирования. Кроме этого, качество изображения ухудшено кольцевыми артефактами (которые практически всегда присущи системам с поступательно-вращательным движением), связанными с неточностями определения координаты соответствующей точки измерения. Для количественной оценки качества изображения построены профили восстановленного коэффициента линейного ослабления  $\mu$  в томограмме по координате  $x$  при  $y = 0$  (рис. 3, *b*, 4, *b*). Хорошо видны (рис. 3, *b*) резкие изменения коэффициента линейного ослабления по всей длине профиля, которые на томограмме имеют

Рис. 3. *a* — томограмма однородного фантома (Al,  $d = 30$  мм), *b* — профиль реконструированных величин коэффициента линейного ослабления по оси  $x$  при  $y = 0$  томограммы.

вид колец. Уровень таких кольцевых артефактов не превышает 1.5% величины максимального коэффициента линейного ослабления алюминия для рентгеновского излучения заданного спектрального состава ( $\mu_{Al} \approx 0.75$ ). Измерения профиля восстановленного коэффициента линейного ослабления в узком плотностном окне показали, что описанные выше кольцевые артефакты размыты. Величина такого размытия составляет ~0.5% от максимального коэффициента линейного ослабления алюминия и именно эта величина определяет неоднородность по всему полю томограммы, обеспечиваемую CdTe-детектором. Очень важно при этом, что точность, задаваемая только токовыми шумами детектора (см. рис. 1), также составляет ~0.5% при минимальном рентгеновском потоке  $4 \cdot 10^4$  квантов/детектор и очень близка к квантовому шуму этого рентгеновского потока. Отсюда ясно, что весь комплекс характеристик CdTe-детекторов способен обеспечить большую точность томограммы. Увеличение потока рентгеновского излучения, падающего на детектор, должно привести к повышению плотностной точности томограммы. В медицинском томографе реальный поток на детектор изменяется от  $10^3$  до  $10^6$  квантов. В технических томографах поток квантов может быть еще большим, что достигается за счет интенсивности источника или за счет увеличения времени единичного измерения.

Для оценки пространственного разрешения исследовался профиль томограммы величины  $\mu(x, y)$  при  $y = 0$ , что соответствует функции скачка плотности на границе оргстекло—алюминий. Пространственное разрешение составило величину 0.65 мм, что приблизительно соответствует шагу дискретизации (0.5 мм) при сканировании объекта.

Таким образом, настоящая работа показала, что детекторы на основе кристаллов теллурида кадмия пригодны для использования в системах вычислительной рентгеновской томографии, а уменьшение размеров детектора, например, до  $0.5 \times 0.5 \times 3$  мм позволит применять их в системах микротомографии при использовании короткофокусных рентгеновских трубок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Е. Н. Аркадьева, В. П. Карпенко, Л. В. Маслова, О. А. Матвеев, С. М. Рывкин, А. И. Терентьев. ЖТФ, 51, 1933 (1981)
- [2] P. A. Glasow, B. Conrad, K. Killing, W. Lichtenberg. IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-28, 563 (1981).
- [3] Е. Н. Аркадьева, Н. К. Зеленина, В. П. Карпенко, Л. В. Маслова, О. А. Матвеев, А. И. Терентьев, А. А. Томасов, Н. Н. Языков. ЖТФ, 55, 897 (1985).
- [4] О. А. Матвеев, А. А. Томасов. Дефектоскопия, вып. 8, 36 (1986).
- [5] N. K. Zelenina, S. M. Ignatov, V. P. Karpenko, L. V. Maslova, O. A. Matveev, D. A. Popov, A. I. Terent'ev, A. A. Tomasov. Nucl. Instr. Meth., A283, 274 (1989).
- [6] F. Glasser, G. Thomas, M. Cuzin, L. Verger. Nucl. Instr. Meth., A322, 619 (1992).

Редактор Л. В. Шаронова