

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
NEW TECHNOLOGIES

№ 1-2 (4-5)
Квітень 2004 р.

Видається з травня 2002 р.

Свідцтво про державну реєстрацію:
Серія КВ № 6816, видане 24.12.2002 р.
Державним комітетом інформаційної
політики, телебачення
та радіомовлення України.

ISBN 966-616-026-9

Науковий вісник Інституту економіки та нових технологій ім. Ю.І. Кравченка

Редакційна колегія:

А.П. Оксанич - доктор технічних наук, професор -
головний редактор;

В.П. Авраменко - доктор технічних наук, професор -
відповідальний секретар;

В.В. Богобожний - доктор фізико-математичних наук,
професор;

Н.Д. Волошин - доктор технічних наук, професор;

Ю.О. Гордієнко - доктор технічних наук, професор;

О.М. Коробочка - доктор технічних наук, професор;

В.Л. Костенко - доктор технічних наук, професор;

К.Р. Курбанов - доктор технічних наук, професор;

В.М. Левикин - доктор технічних наук, професор;

І.Ш. Невлюдов - доктор технічних наук, професор;

В.Р. Петренко - кандидат технічних наук, професор -
заступник головного редактора;

В.Д. Рижиков - доктор технічних наук, професор;

С.Є. Самохвалов - доктор технічних наук, професор;

О.А. Степін - доктор технічних наук, професор;

Г.О. Сукач - доктор технічних наук, професор;

О.Ф. Тарасов - доктор технічних наук, професор;

А.Д. Тевяшев - доктор технічних наук, професор.

Відповідальний редактор **О.А. Палант**.

Верстка **А.В. Міщенко**. Літредактор **О.О. Яркова**.

Коректори **Т.Р. Третьак**, **О.А. Лялюк**.

© Назва, концепція, зміст і дизайн Наукового вісника "Нові технології" є інтелектуальною власністю Інституту економіки та нових технологій і охороняються законом про авторські і суміжні права.

Передрук матеріалів без узгодження з редакцією "Нових технологій" не дозволяється.

Матеріали друкуються мовою оригіналу.

Здано до набору 20.11.2003 р. Підписано до друку 08.04.2004 р.
Формат 64х80 1/8. Ум.-друк. арк. - 25,92. Обл.-вид. арк. - 29,2.
Наклад 200 примірників.

Адреса редакції: 39600, Кременчук, вул. Пролетарська, 24/37.
Тел. (05366) 3-30-38, Тел./факс: (05366) 3-11-44.
E-mail: ient@kremen.ukrnet.net

Друкуються за рішенням Вченої ради Інституту економіки
та нових технологій ім. Ю.І. Кравченка
(протокол № 7 від 25.03.2004 р.).

Видає Редакційно-видавничим центром
Інституту економіки та нових технологій:
39600, Кременчук, вул. Пролетарська, 24/37, к. 516.
Замовлення № 24/4

ЗМІСТ:

Діагностика фізичних властивостей напівпровідникових матеріалів. Матеріали і структури для сенсорів

5 **В.Д. Рижиков, М.Г. Старжинський, Б.В. Гришов, В.П. Семиноженко, К.А. Катрунов, В.І. Силін, В.Г. Спасов, О.П. Вербицький, І.М. Зеня**. Особливості застосування та характеристики сцинтиляторів для рентгенівської інтроскопії

8 **В.Д. Рижиков, А.Д. Ополонія, О.К. Лисецька, С.М. Галкін, В.Л. Даниленко, В.Л. Перевертайло**. Дослідження характеристик детекторів на основі сцинтилятор-фотоприймальний пристрій для цифрової радіографії

12 **Є.Ф. Воронкин, С.М. Галкін, Ю.М. Галіч, О.І. Лалайни, Г.М. Оніщенко, І.А. Рибалка, В.Д. Рижиков**. Дослідження однорідності властивостей неорганічних сцинтиляторів

16 **А.В. Федосов, Д.А. Захарчук, М.В. Хвищун, С.А. Федосов**. Розрахунок величини зміщення рівнів радіаційних дефектів у γ -опромінених монокристалах n-Si

18 **Ю.С. Жарких, С.В. Лисоченко, С.С. Новіков, О.В. Третьак**. Контроль стану поверхні кремнієвих пластин після хімічних обробок

21 **В.Д. Бондар, І.Й. Кухарський, Ю.Г. Дубов, Р.М. Пастернак, І.І. Іжкін, Д.М. Винник**. Методи отримання, структура і властивості оксидних напівпровідників на основі ZnO

24 **І.М. Матвійшин, С.С. Новосад, І.С. Новосад, О.В. Футей, А.М. Войцеховська**. Вплив адсорбції газів на фотовольтаїчні ефекти в кристалах йодистого кадмію при рентгенівському збудженні

27 **Т.В. Панченко**. Електретні властивості кристалів силікосилієніту

32 **Т.В. Панченко, В.М. Дуда**. Діелектрична релаксація у легованих кристалах силікосилієніту

УДК:621.386.82:539.1.074.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ СЦИНТИЛЛЯТОР-ФОТОПРИЕМНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЦИФРОВОЙ РАДИОГРАФИИ

В.Д. Рыжиков, А.Д. Ополонин, Е.К. Лисецкая, С.Н. Галкин, В.Л. Даниленко.
НТК "Институт монокристаллов", г. Харьков.

В.Л. Перевертайло.

Государственное предприятие "НИИ микроприборов", г. Киев.

С целью повышения пространственного разрешения разработан принципиально новый детектор на базе сцинтиллятор-фотоприемного устройства (С-ФПУ) для цифровой радиографии. Изучены его основные характеристики.

Установлено, что зависимость сигнала ФПУ и детектора от мощности экспозиционной дозы — линейная; увеличение времени накопления в 10 раз приводит к повышению чувствительности примерно в 10 раз; для энергий рентгеновского излучения ~70 кэВ ($U_a=110$ кВ) применение сцинтиллятора повышает эффективность регистрации.

Ключевые слова: сцинтиллятор-фотоприемное устройство, пространственное разрешение, цифровая радиография.

Введение

В цифровой радиографии существуют резервы для повышения пространственного разрешения линейки детекторов до (2–3) пар линий/мм [1].

С этой целью разработан принципиально новый детектор на базе сцинтиллятор-фотоприемное устройство (С-ФПУ).

Изучены его основные характеристики — чувствительность к рентгеновскому излучению, динамический диапазон, линейность параметров и др.

Методика эксперимента

Исследования проводились при помощи приемно — детектирующего тракта (ПДТ), разработанного в НТЦ РП. Предварительный усилитель ПДТ собран по схеме преобразователя "ток — напряжение". Схема включения ФПУ представлена на рис. 1.

С выхода преобразователя сигнал подавался на вход 12-разрядного АЦП. Таким образом, зная

шаг преобразования АЦП — 0,00128 В, можно по выходному напряжению определить ток, протекающий через полевой транзистор ФПУ по формуле:

$$I = U_{\text{вых}} / R_{\text{ос}} \quad (1)$$

Более подробно схема одной ячейки ФПУ приведена на рис. 2 [2]. Основным преимуществом использования преобразователя "ток — напряжение" является снижение влияния изменений напряжения питания и помех на выходной сигнал. Это объясняется тем, что полевой транзистор при таком включении работает в режиме стабилизации тока.

Как следует из приведенных на рис. 3 характеристик, изменение напряжения на полевом транзисторе от 7 до 12 В приводит к незначительным изменениям тока (исток-сток).

В ФПУ имеется возможность через отдельный вывод подавать от внешнего источника регулируемое напряжение ($U_{\text{см}}$), до которого заряжается емкость каждой из ячеек. Зависимость выходного тока от напряжения смещения $U_{\text{см}}$ приведена на рис. 4.

С высокой степенью достоверности данная зависимость аппроксимируется линейным законом (2):

$$I_{\text{с-и}} = 0,08524 U_{\text{см}} - 1,6401 \quad (2)$$

Такая регулировка предоставляет дополнительные возможности для оптимальной настройки ПДТ.

Рассмотрим более подробно работу ФПУ (рис.

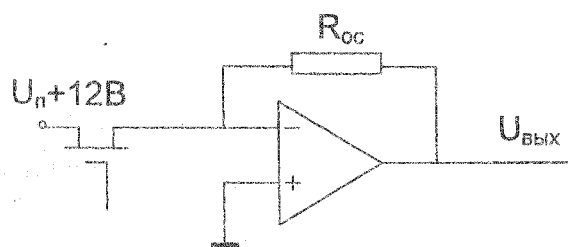


Рис. 1. Схема включения ФПУ

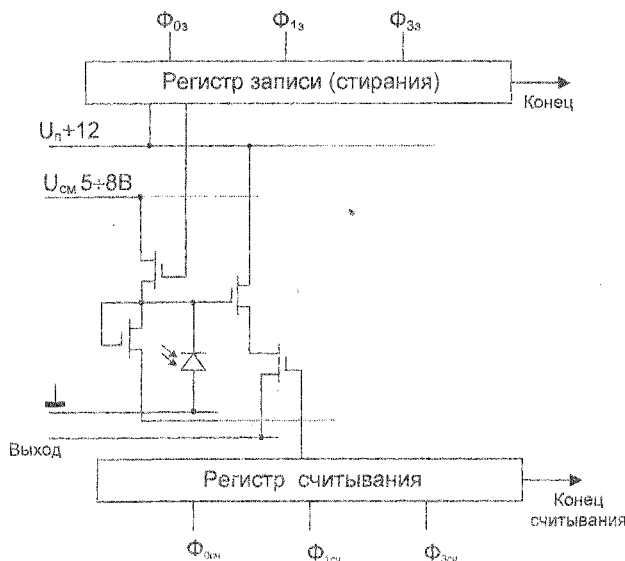


Рис. 2. Схема одной ячейки ФПУ

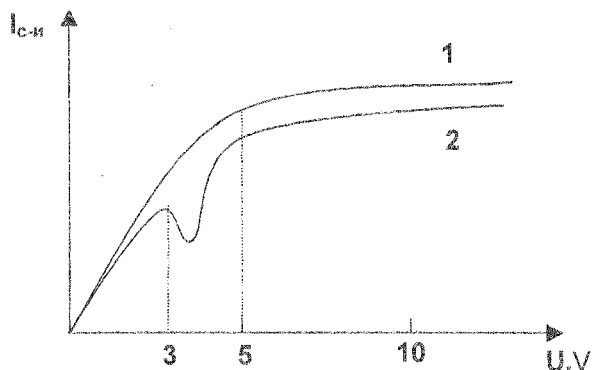


Рис. 3. Выходные характеристики полевого транзистора ФПУ

2). Состоящее из n ячеек ФПУ имеет два сдвиговых регистра — регистр считывания и регистр записи. По внешнему сигналу, подаваемому на регистр записи, происходит заряд емкости фотодиода первой ячейки и начинается отсчет времени накопления. По каждому тактовому импульсу Φ регистр последовательно подключается к следующей ячейке. После n переключений на выходе регистра записи появляется сигнал “конец записи”. Через заданный интервал времени (время накопления) на вход регистра чтения подается сигнал считывания. Регистр считывания по тактовым импульсам Φ последовательно подключает на выход ФПУ 1- n ячейки. С небольшой задержкой по отношению к сигналу Φ необходимо сформировать сигнал “начало преобразования” для АЦП.

Так как заряд емкости фотодиодов до напряжения $U_{см}$

и считывание остаточного напряжения производится последовательно и с одной и той же частотой, время накопления для первой и n -й ячейки идентично.

ФПУ позволяет варьировать время накопления сигнала в широких пределах (от миллисекунд до секунд). В ПДТ, например, имеется возможность установки времени накопления 10, 100, 1000 мс. При изменении времени накопления изменяется как чувствительность ФПУ, так и уровни темновых токов (за счет утечек заряда на емкости фотодиода). Зависимость темновых токов от времени накопления для 32-канального ФПУ приведена на рис. 5.

Как видно, в каналах ФПУ, имеющих аномальные утечки (канал 25), темновые токи изменяются значительно резче, чем в остальных. Таким образом, режим работы с большими временами накопления (≥ 1 с) может быть использован для оценки качества изготовления ФПУ.

Следующим этапом измерения параметров ФПУ и детекторов на их основе являлось измерение чувствительности к рентгеновскому излучению. Согласно выбранной схеме включения ФПУ выходным параметром детектора является ток, протекающий через полевой транзистор.

Построены зависимости сигнала 32-канального ФПУ от времени накопления (рис. 6), а также тока от мощности экспозиционной дозы для ФПУ и детектора (рис. 7).

Из полученных данных следует:

1) увеличение времени накопления в 10 раз приводит к увеличению чувствительности ФПУ примерно в 10 раз (рис. 6);

2) зависимость сигнала ФПУ (режим прямого детектирования) и детектора от мощности экспозиционной дозы (МЭД) — линейная (рис. 7);

3) для энергий рентгеновского излучения ~ 70 keV ($U_a = 110$ kV) применение сцинтиллятора ZnSe(Te) повышает эффективность регистрации

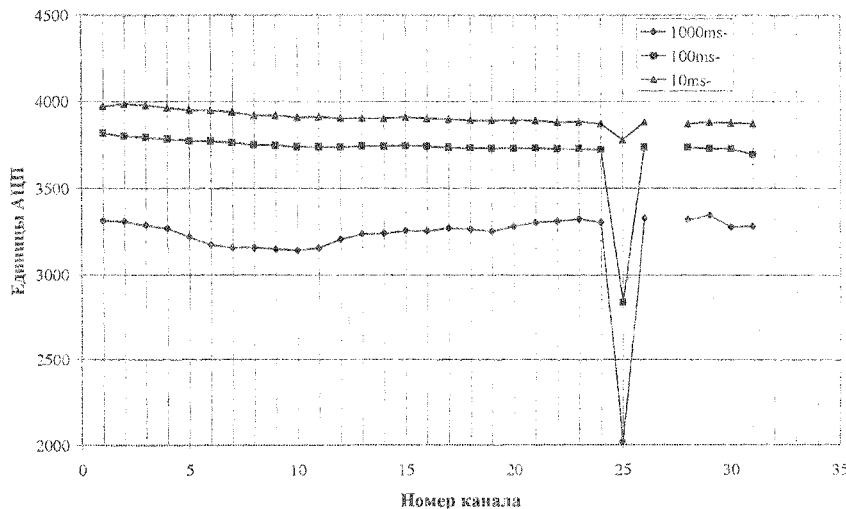


Рис. 5. Темновой сигнал 32-канального ФПУ в зависимости от времени накопления

примерно в 10 раз.

Как видно из рис. 7, экспериментальная зависимость ток ФПУ - МЭД аппроксимирована линейным законом $I = c \cdot P + I_d$, где I — ток ФПУ; P — МЭД; I_d — темновой ток; c — чувствительность к рентгеновскому излучению. В данном случае речь идет об абсолютной чувствительности конкретного устройства (ФПУ) с заданными размерами фоточувствительной области. Для сравнения результатов по измерению чувствительности различных типов детекторов и сравнения их эффективности необходимо рассчитать чувствительность детектора при единичной площади входного окна — $C = c/S$.

Например, чувствительность 32-канального детектора на базе ФПУ со спинтилятором 0,6 мм для времени накопления 10 мс (поз. 4 рис. 7)

определяется из формулы линии тренда:

$y = 0,002502x - 4,766300$, откуда $c = 2,502 \text{ мА/}$ (Р/ч).

Зная площадь фоточувствительной области $S = 0,4 \text{ см} \cdot 0,06 \text{ см} = 0,024 \text{ см}^2$, находим:

$$C_{\text{ФПУ}, c} = \frac{c}{S} = \frac{2,502}{0,024} = 104,25 \frac{\mu\text{А} \cdot \text{ч}}{\text{Р} \cdot \text{см}^2} = 1740 \frac{\text{нА} \cdot \text{мин}}{\text{Р} \cdot \text{см}^2}. \quad (3)$$

Для детектора на базе линейной фотодиодной матрицы типичная чувствительность составляет:

$$C_{\text{ФДМ}} = 30 \div 100 \frac{\text{нА} \cdot \text{мин}}{\text{Р} \cdot \text{см}^2}. \quad (4)$$

Таким образом, чувствительность детектора на базе ФПУ при времени накопления 10 мс превышает чувствительность детекторов на базе фотодиода в 17-60 раз.

Увеличение времени накопления в 10 раз приводит к увеличению чувствительности тоже примерно в 10 раз (см. рис. 6-8).

На рис. 8 приведены данные по двум каналам 64-канального ФПУ (5-й и 50-й), наиболее отличающимся по темновым токам I_d :

5-й канал:

$t_{\text{нак}} = 100 \text{ мс};$
 $c = 0,255 \mu\text{А} \cdot \text{ч/Р};$

$t_{\text{нак}} = 1000 \text{ мс};$
 $c = 2,526 \mu\text{А} \cdot \text{ч/Р};$

50-й канал:

$t_{\text{нак}} = 100 \text{ мс};$
 $c = 0,285 \mu\text{А} \cdot \text{ч/Р};$

$t_{\text{нак}} = 1000 \text{ мс};$
 $c = 2,671 \mu\text{А} \cdot \text{ч/Р};$

Возможность изменения чувствительности детектора (более чем на три порядка), в сочетании с управляемым (по анодному току и напряжению) источником рентгеновского излучения, предоставляет возможность разработки радиоскопических систем широкого применения (для исследования объектов различной толщины, состава, плотности и т.д.).

Все измерения, результаты которых приведены на рис. 7 проводились при одном и том же режиме рентгеновского излучателя — $U_a = 110 \text{ кВ}; I_a = 0,45 \mu\text{А}$. Сравнивая чувствительность детектора на

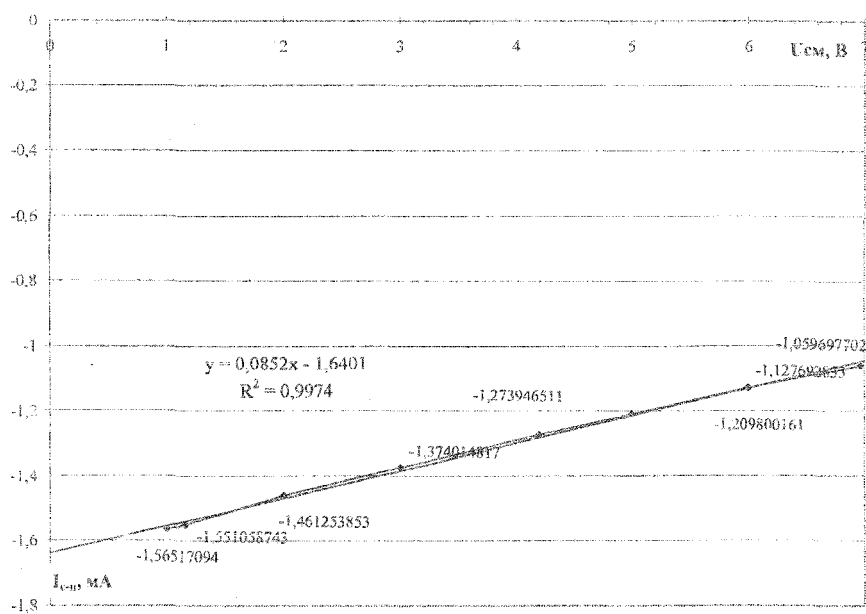


Рис. 4. Зависимость тока исток-сток ячейки ФПУ от напряжения, используемого для заряда емкости фотодиода

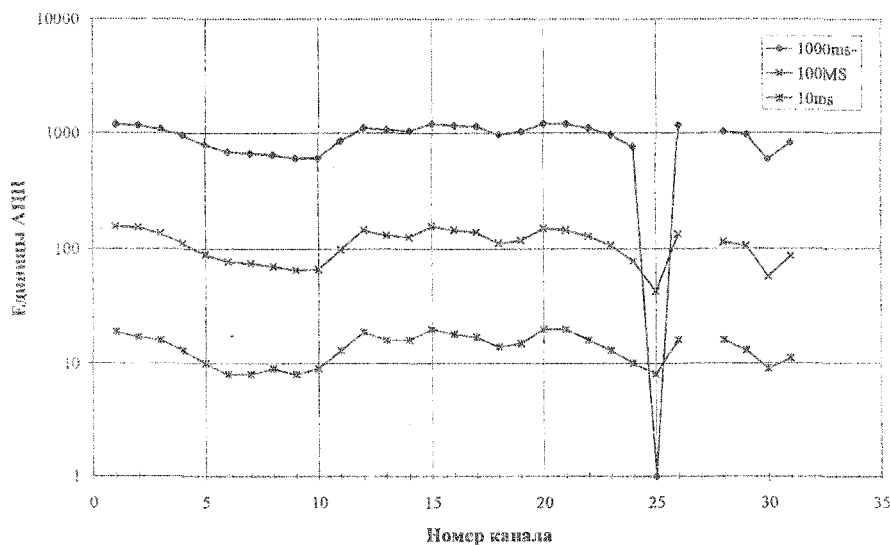


Рис. 6. Сигнал 32-канального ФПУ в зависимости от времени накопления

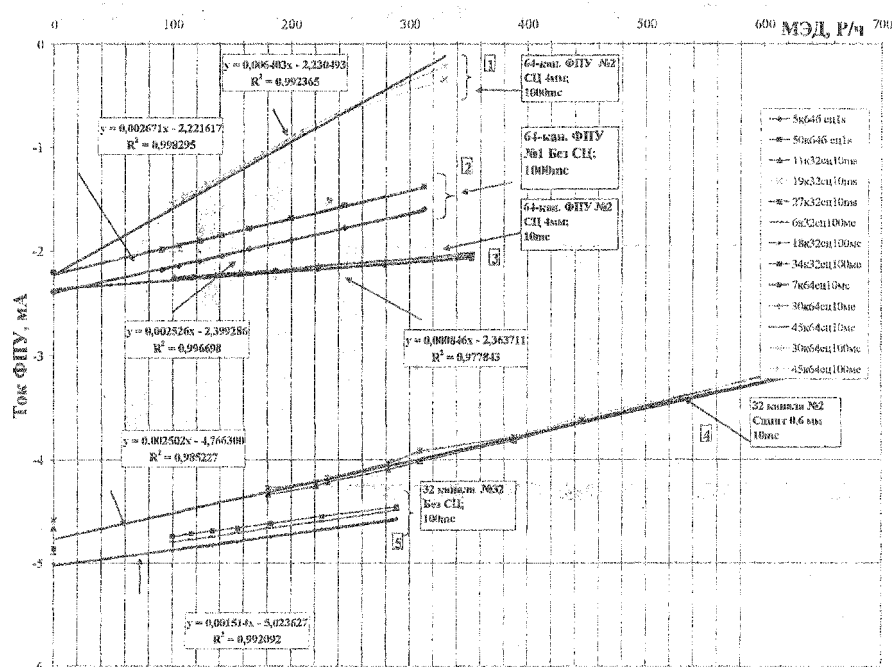


Рис. 7. Чувствительность к рентгеновскому излучению 32- и 64-канального ФПУ и детекторов на их основе

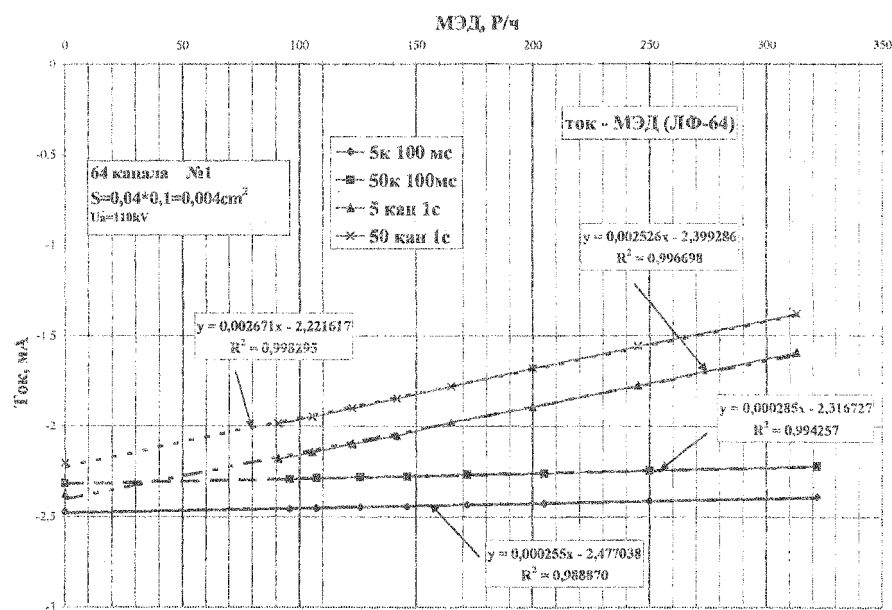


Рис. 8. Зависимость чувствительности 64-канального ФПУ к рентгеновскому излучению от времени накопления

базе 64 канального ФПУ со сцинтиллятором (С) (поз. 1 рис. 7) и без него (поз. 2 рис. 7) видим увеличение чувствительности примерно в 2,5 раза. В то же время для 32-канального детектора (поз. 4-5, рис. 7) применение С дает увеличение чувствительности примерно в 16 раз. Такое отличие объясняется толщиной примененного С - 4 мм для 64-канального детектора и 0,6 мм для 32-канального, а также материалом С (в данном случае ZnSe).

В выбранном режиме измерений ($U_a = 110$ кВ) тонкий (0,5±1 мм) ZnSe(Te) имеет лучший све-

товыход по сравнению с толстым (4 мм). Это объясняется тем, что при достаточно толстом С и низкой энергии излучения поглощение квантов рентгеновского излучения происходит в поверхностном слое С. Далее кванты света, проходя через С, частично поглощаются (коэффициент прозрачности ZnSe к собственному излучению $\kappa = 0,1 \pm 0,2$ см⁻¹), и лишь затем попадают на ФД.

В НТЦ РП разработаны детекторы как высоко-, так и низкоэнергетического излучения, предназначенные для работы в двух-энергетических радиоскопических системах [3-6]. Они предназначены для выделения в исследуемом объекте областей с различными средними атомарными номерами Z.

ПДТ на базе двойных линеек детекторов с успехом применяются в аппаратах для рентгеновского таможенного контроля багажа.

Выводы

Расчеты показали, что оптимальная толщина ZnSe(Te) для детекторов низких энергий, при анодном напряжении рентгеновской трубки 140-160 кВ составляет 0,3-0,7 мм. При использовании таких С в аппаратах таможенного контроля чувствительность системы повышается и, следовательно, уве-

личивается толщина просвечиваемого объекта.

Испытания ПДТ показали, что разработанные и приобретенные ФПУ при больших коэффициентах усиления обладают значительным разбросом темновых сигналов по каналам ФПУ. Решение данной проблемы может быть осуществлено двумя способами: 1) введением в состав ПДТ запоминающего устройства для калибровки темновых сигналов аппаратными средствами (при опросе каждого канала устанавливается индивидуальное смещение операционного

усилителя); 2) улучшением характеристик ФПУ.

Рисунки с теньевым рентгеновским изображением тестовых объектов приведены на рис. 9.

Литература:

1. Harrison R.M. Digital radiography — a review of detector design // Nucl. Instr. and Meth. - 1991. - № 310. - P. 24-34.
2. Епифанов А., Перевертайло В., Назарук В. Интегральные микросхемы линейных фоточувствительных приборов // Радиоаматор. - 2003. - № 5. - С. 34-36.
3. V.D. Ryzhikov, N.G. Starzhinskiy at all Scintillator-photodiode detecting systems for two-level X-ray inspection systems // 15th World Conference on Non-Destructive Testing, Rome (Italy). - 2000. - 15-21 October. - P. 466-500.
4. The X-Ray Introscopy System "Poliscan-4" // Prospects, steri@isc.kharkov.com.
5. Ryzhikov V., Grinyov B. at all Instruments and detectors on the basis of scintillation crystals ZnSe(Te), CWO, BGO, GSO, CsI(Tl) for security systems and radiation monitoring // 7th International Conference on Inorganic Scintillators and Industrial Applications (SCINT-2003), Valencia, Spain. - 2003. - 8-12 September.
6. Ryzhikov V., Kozin D. at all Choise of Scintillators For Scintillator-Photodiode Type Detectors // 7th International Conference on Inorganic Scintillators and Industrial Applications (SCINT-2003), Valencia, Spain. - 2003. - 8-12 September. - P. 60.

Поступила в редакцию 20.02.2004.

© Рыжиков В.Д., 2004.
© Ополонин А.Д., 2004.
© Лисецкая Е.К., 2004.
© Галкин С.Н., 2004.
© Даниленко В.Л., 2004.
© Перевертайло В.Л., 2004.

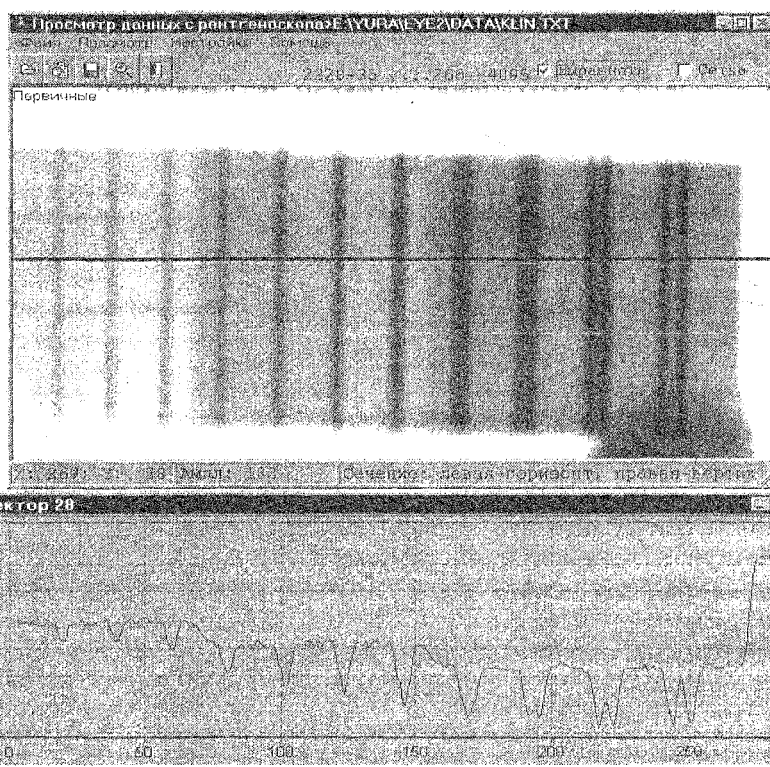


Рис. 9. Рентгеновское изображение тестового объекта (пары проволоочек в трехступенчатом клине) и горизонтальное сечение (28-й канал выделен как черная линия), полученные с использованием 64-канального детектора (апертура 1x0,38 мм, вертикальный шаг 0,43 мм)

Рыжиков Владимир Дниомидович, профессор, д.ф.-м.н., директор Научно-технологического центра радиационного приборостроения НТК "Институт монокристаллов".
Ополонин Александр Дмитриевич, гл. спец., НТЦ РП НТК "Институт монокристаллов".
Лисецкая Елена Константиновна, к.ф.-м.н., с. н. с., НТЦ РП НТК "Институт монокристаллов".
Галкин Сергей Николаевич, к.т.н., с. н. с., зав. отделом, НТЦ РП НТК "Институт монокристаллов".
Даниленко Влада Леонидовна, инж.-технолог, НТЦ РП НТК "Институт монокристаллов".
Перевертайло Владимир Леонтьевич, зам. директора, к.ф.-м.н., Государственное предприятие "Научно-исследовательский институт микроприборов", г. Киев.

УДК 539.1.074.3:546.47'23'24

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОРОДНОСТИ СВОЙСТВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

Е.Ф. Воронкин, С.Н. Галкин, Ю.М. Галич, А.И. Лалаянц, Г.М. Онищенко, И.А. Рыбалка, В.Д. Рыжиков.
НТК "Институт монокристаллов", г. Харьков.

Представлены результаты исследований параметров светового выхода и однородности сцинтилляционных свойств 1D- и 2D-матриц в зависимости от условий их изготовления. Показано увеличение светового выхода шлифованных сцинтилляторов на основе ZnSe(Te) и CdWO₄ относительно полированных элементов.