

## ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТЕКТОРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ CdTe (CdZnTe)

*А. В. Рыбка, И. М. Прохорец, И. Н. Шляхов, А.А. Захарченко,  
А. А. Блинкин, Л. Н. Давыдов, М. А. Кузьмичев, Д. В. Кутный  
ННЦ ХФТИ, 61108, г. Харьков, Академическая, 1  
А. Н. Оробинский, Н. И. Кравченко  
ХГНИИ метрологии, 61002, г. Харьков, Мироносицкая, 42*

Исследовано влияние рентгеновского и гамма-излучения на рабочие характеристики детекторов из CdTe и CdZnTe. Кристаллы CdTe были получены традиционным методом Бриджмена, а CdZnTe — методом Бриджмена при высоком давлении инертного газа. Приведены счетные характеристики детекторов, дискретная чувствительность и ее зависимость от мощности излучения для источников  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$ . Для  $^{137}\text{Cs}$  дискретная чувствительность составляет величину порядка 60 имп/мкР при мощности излучения до 1 Р/ч. Проведенные исследования показали, что расширение диапазона МЭД возможно при изменении рабочего объема детектора или уровня дискриминации сигнала.

### ВВЕДЕНИЕ

Как известно, полупроводниковые детекторы (ППД) обладают рядом преимуществ по сравнению со сборками сцинтиллятор-ФЭУ и сцинтиллятор-фотодиод. Эти преимущества выражаются в малых габаритах и весе, широком динамическом диапазоне, более высоком квантовом выходе и надежности в работе. Полупроводниковые детекторы обладают большей радиационной стойкостью, лучшим энергетическим разрешением. В отличие от детекторов на основе сцинтилляторов в них осуществляется прямое преобразование энергии ионизирующего излучения в электрический сигнал. Полупроводниковые детекторы выгодно отличаются также в сравнении с газовыми ионизационными камерами. Из-за большой плотности вещества они позволяют резко снизить объём, в котором под действием излучения происходит образование заряженных частиц. Кроме того, из-за меньшей, чем в газах энергии образования электронно-дырочной пары (несколько электронвольт против 30...50 эВ) улучшается отношение сигнал/шум и энергетическое разрешение.

В последнее десятилетие резко возрос интерес к применению широкозонных полупроводниковых детекторов на основе соединений CdTe и CdZnTe в различных устройствах для детектирования и спектроскопии рентгеновского и  $\gamma$ -излучения (см., например, материалы недавних конференций [1–3]). Эти полупроводниковые соединения позволяют получить детекторы небольшого объема, работающие при комнатной температуре и обеспечивающие высокую эффективность поглощения излучения. Эти свойства обусловлены, прежде всего, наличием широкой запрещенной зоны (1,5...2,2 эВ, в зависимости от концентрации Zn) и большим средним атомным номером ( $Z = 50$ ). Большая ширина запрещенной зоны позволяет использовать

детекторы для работы при комнатной температуре, а большое поперечное сечение фотоэффекта, которое ведет себя как  $\sim Z^5$ , обеспечивает высокую эффективность регистрации рентгеновского и  $\gamma$ -излучений.

Несмотря на большое число работ по исследованию физических свойств детекторов из CdTe и CdZnTe, в литературе почти отсутствуют данные по эксплуатационным характеристикам детекторов, связанные с регистрацией излучений, по воспроизводимости и надежности измерений, хотя такие публикации имеются по Si, Ge и сцинтилляционным кристаллам [4].

Данная работа посвящена исследованию эксплуатационных характеристик детекторов из CdTe и CdZnTe в широком диапазоне мощности экспозиционных доз (МЭД) рентгеновского и  $\gamma$ -излучений применительно к задачам дозиметрии и радиометрии. Такие детекторы разработаны и изготовлены в ННЦ ХФТИ и предназначены для использования в системах контроля безопасности АЭС, для охраны и мониторинга окружающей среды и т.д. Результаты большинства измерений получены в процессе метрологической аттестации ППД, что дополнительно свидетельствует о достоверности полученной информации и надежности устройств.

### МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Кристаллы CdTe получены традиционным методом Бриджмена, а кристаллы CdZnTe — методом Бриджмена при высоком давлении инертного газа (НРВМ).

Технология изготовления детекторов включает порезку слитков, шлифовку и полировку кристаллов, травление поверхности и нанесение омических либо выпрямляющих контактов, пассивацию боковой поверхности, размещение на подложке, герметизацию корпуса.

Измерения, описываемые ниже, проводились на планарных детекторах с размерами  $2 \times 5 \times 5$  мм при комнатной температуре (контакты из Au были сформированы на площадках  $5 \times 5$  мм.)

Для измерения токов утечки использовался универсальный вольтметр типа В7-21 с ценой деления 20 pA и источник питания с регулируемым выходом.

Все измерения, если это не оговорено специально, выполнены в счетном режиме при помощи стандартного тракта, состоящего из зарядочувствительного предварительного усилителя, формирующего усилителя, интегрального дискриминатора, пересчетного прибора и стабилизированного источника напряжения для питания детектора.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТЕКТОРОВ

Характерные зависимости динамического сопротивления для CdTe и CdZnTe от напряжения смещения представлены на рис. 1. Видно, что CdZnTe обладает по сравнению с CdTe большим удельным сопротивлением  $\sim 10^{11}$  Ом·см и, следовательно, малыми токами утечки, что позволяет эксплуатировать детекторы CdZnTe рассматриваемой геометрии при напряжениях до 300 В и более. Это, с одной стороны, дает возможность снизить шумы на входе предварительного усилителя, а с другой, — увеличить длину свободного пробега носителей заряда  $I = \mu \tau E$  ( $\mu$  — подвижность,  $\tau$  — время жизни носителей,  $E$  — напряженность электрического поля в детекторе) и, следовательно, повысить эффективность сбора заряда. В настоящей работе описывается работа детекторов в счетном и токовом режимах. Вместе с тем, свойства кристаллов CdTe и CdZnTe позволяют их с успехом использовать в спектрометрах рентгеновского и  $\gamma$ -излучения, работающих при комнатной температуре [6].

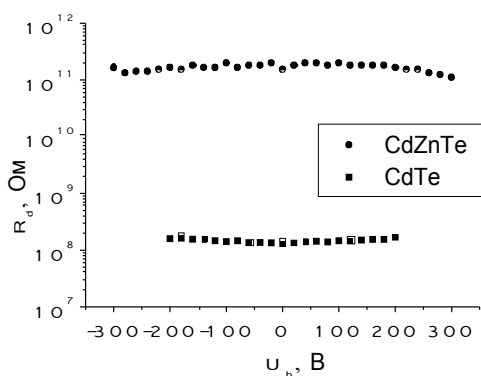


Рис.1. Характерная зависимость динамического сопротивления от напряжения смещения для CdTe и CdZnTe

На рис. 2 представлена счетная характеристика детектора из CdTe, полученная с использованием  $^{137}\text{Cs}$  источника  $\gamma$ -излучения при уровне дискриминации сигнала 50 мВ. Видно, что детектор работает как твердотельная ионизационная камера; кривая характеризует зависимость эффективности

сбора заряда от приложенного напряжения. Диапазон рабочих напряжений от 20 до 80 В.

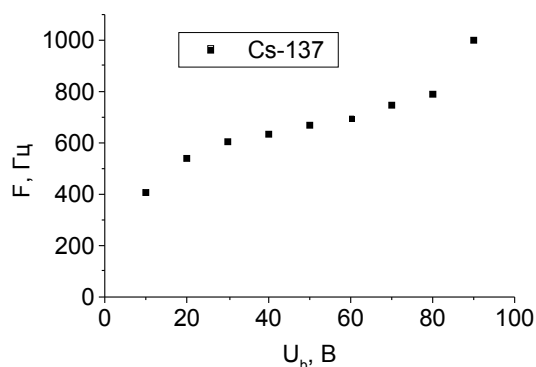


Рис.2. Счетная характеристика CdTe детектора

### ИЗМЕРЕНИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАДИОАКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Измерения под воздействием радиоактивных источников  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  проведены на рабочем эталоне — поверочной гамма-дозиметрической установке УПГД-3В в рамках сертификационных испытаний детекторов ТХ201АП (из CdTe), изготовленных по ТУ У 22651643.001-99.

На рис. 3, 4 и 5 представлены зависимости загрузки канала регистрации детекторов ТХ201АП на основе CdTe от мощности экспозиционной дозы для различных источников гамма-излучения.

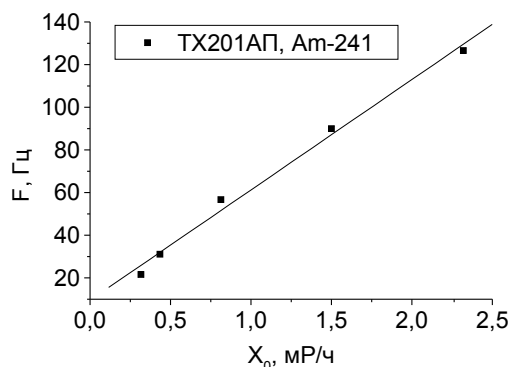


Рис.3. Зависимость загрузки канала регистрации от МЭД для  $^{241}\text{Am}$

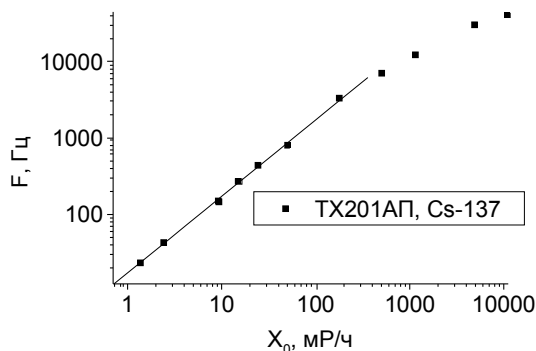


Рис.4. Зависимость загрузки канала регистрации от МЭД для  $^{137}\text{Cs}$

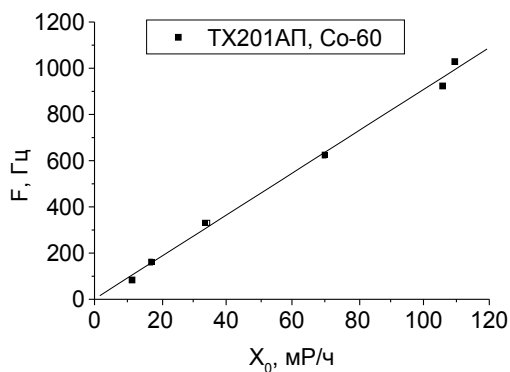


Рис. 5. Зависимость загрузки канала регистрации от МЭД для  $^{60}\text{Co}$

Как следует из рис. 3-5, при регистрации в счетном режиме излучения от различных стандартных источников загрузка канала линейно зависит от МЭД, причем для  $^{137}\text{Cs}$  эта линейность сохраняется вплоть до значений 1 Р/ч. Более того, при заданном уровне дискриминации работоспособность канала регистрации сохраняется и при более высоких МЭД (при 10 Р/ч отклонение от прямой составляет ~ 50 %).

Дискретная чувствительность регистрации  $\gamma$ -излучения для различных радионуклидов составляет: для  $^{241}\text{Am}$  —  $1,9 \cdot 10^{10}$  имп/Зв ( $\sim 2 \cdot 10^2$  имп/мкР), для  $^{137}\text{Cs}$  —  $6,0 \cdot 10^9$  имп/Зв ( $\sim 60$  имп/мкР) и для  $^{60}\text{Co}$  —  $3,9 \cdot 10^9$  имп/Зв ( $\sim 40$  имп/мкР). Дискретная чувствительность регистрации определялась при рабочем напряжении на детекторе  $U_{\text{дт}} = 40$  В, напряжении дискриминации интегрального дискриминатора  $U_{\text{пор}} = 50$  мВ и коэффициенте преобразования предусилителя не менее 15 мкВ/эВ.

Дискретную чувствительность канала регистрации можно регулировать путем изменения рабочего напряжения детектора, уровня дискриминации (или усиления) сигнала в измерительном тракте, а также подбором объема детектора. Это иллюстрируется зависимостями, приведенными на рис. 6.

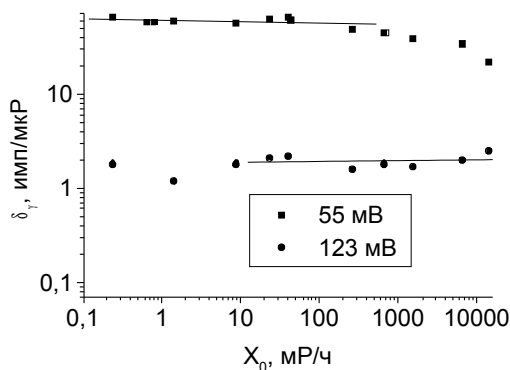


Рис. 6. Зависимость дискретной чувствительности детектора из CdTe от МЭД при различных уровнях дискриминации ( $^{137}\text{Cs}$ )

С учетом приведенных выше результатов был разработан и изготовлен широкодиапазонный блок детектирования  $\gamma$ -излучения, состоящий из детектора из CdTe, специально спроектированного и

изготовленного зарядочувствительного предварительного усилителя, сигналы с которого подавались на встроенный интегральный дискриминатор и регистрировались пересчетным прибором. Дальнейшие исследования детектора из CdTe в составе широкодиапазонного блока детектирования были проведены на установке дозиметрической поверочной ЭТАЛОН-1М с источником излучения  $^{60}\text{Co}$ . Зависимость дискретной чувствительности канала регистрации от дозы представлена на рис. 7. При этом порог дискриминации тракта обработки сигнала составлял 150 кэВ, напряжение смещения 40 В.

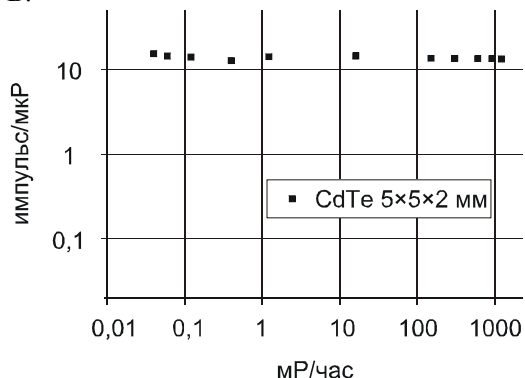


Рис. 7. Зависимость дискретной чувствительности канала регистрации от МЭД для  $^{60}\text{Co}$

На рис. 8 показана зависимость загрузки канала регистрации от мощности дозы. Видно, что линейность характеристик при регистрации сохраняется вплоть до исследованной МЭД в 1 Р/ч при загрузке канала регистрации  $5000 \text{ с}^{-1}$ .

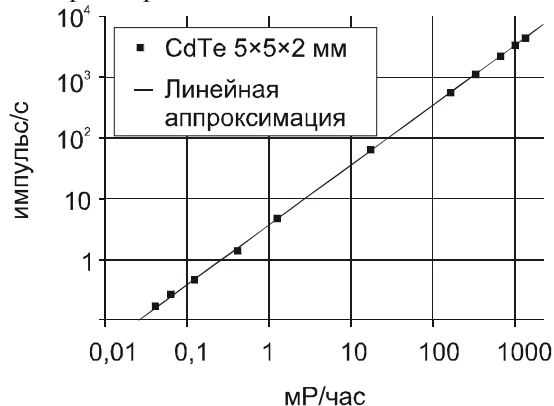


Рис. 8. Зависимость загрузки канала регистрации от МЭД для  $^{60}\text{Co}$

Измерения на установке с источником большей мощности ( $^{60}\text{Co}$ , 10000 Р/час) проводились с тем же измерительным трактом, но с более высоким порогом дискриминации ( $\sim 200$  кэВ). Результаты представлены на рис. 9 и 10.

Загиб характеристик, наблюдаемый на рис. 10 при больших мощностях экспозиционной дозы свидетельствует о том, что мертвое время измерительного тракта оказывается соизмеримым с обратной скоростью счета. Стандартным решением проблемы нелинейности загрузки канала регистрации при высоких дозах является переход к токовому режиму работы детектора.

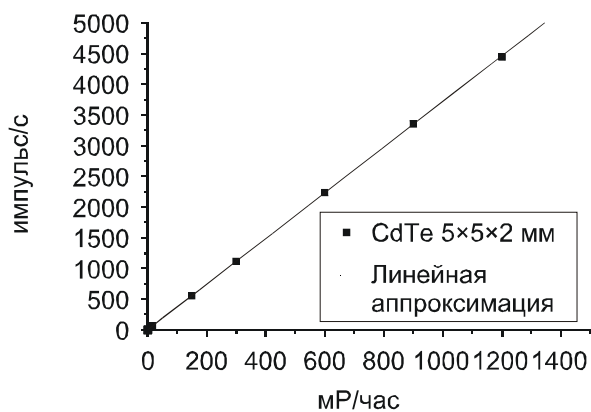


Рис. 9. Зависимость загрузки канала регистрации от МЭД для  $^{60}\text{Co}$

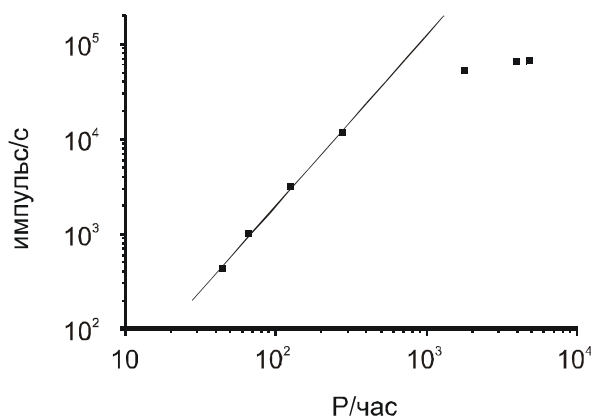


Рис. 10. Зависимость загрузки канала регистрации от МЭД для  $^{60}\text{Co}$  ( $\text{CdTe } 1 \times 1 \times 1 \text{ мм}^3$ , дискриминация сигнала)

Нами проведены предварительные измерения зависимости сигнала CdTe и CdZnTe детекторов в токовом режиме от мощности экспозиционной дозы для рентгеновского излучения большой интенсивности. Полученные данные свидетельствуют о линейности этой зависимости до МЭД в несколько тысяч рентген в час.

## ВЫВОДЫ

Современная технология изготовления и обработки кристаллов CdTe и CdZnTe позволяет создавать чувствительные полупроводниковые детекторы, работающие при комнатной температуре. Такие детекторы как счетчики, так и спектрометры изготавливаются в ННЦ ХФТИ. Приведенные эксплуатационные характеристики детекторов, работающих в счетном и токовом режимах (эти характеристики частью получены при сертификационных метрологических испытаниях), свидетельствуют, что такие детекторы могут успешно применяться в современных устройствах регистрации и измерения гамма-излучения. Имея меньшие размеры и массу, они обладают более высокой дискретной чувствительностью (составляющей 200 имп/мкР для энергии 662 кэВ и объема детектора 50 мм<sup>3</sup>), чем детекторы на основе сцинтилляторов. Линейная зависимость загрузки счетного канала регистрации от мощности экспозиционной дозы сохраняется вплоть до 1 Р/ч. При этом загрузка канала регистрации составляет 5000 с<sup>-1</sup>.

## ЛИТЕРАТУРА

- 17-th US Workshop on the Physics and Chemistry of II-VI Materials, Charleston, SC, Oct 20-22, 1998// *Journal of Electronic Materials*. 1999, v. 28, no. 6.
- 1998 Nuclear Science Symposium, Toronto, Canada, Nov 8-14, 1998// *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 1999, v. NS-46, no. 3.
- The 11-th International Workshop on Room Temperature Semiconductor X- and Gamma-Ray Detectors and Associated Electronics, Vienna, Austria, October 11-15, 1999.
- Л.В. Атрошенко и др. *Кристаллы сцинтилляторов и детекторы ионизирующего излучения на их основе*. Киев: «Наукова думка», 1998.
- J.C. Lund, R.Olsen, J.M.Van Scyoc and R.B. James. The Use of Pulse Processing Techniques to Improve the Performance of Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te Gamma-Ray Spectrometers // *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 1996, v. NS-43, p. 1411-1416.