

**СПЕКТРОМЕТРИЯ ГАММА- И АЛЬФА-ИЗЛУЧЕНИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ НА ОСНОВЕ CdTe (CdZnTe)**

**В. В. Левенец, А. П. Омельник, А. А. Щур, В. Н. Борисенко,  
В. Е. Кутний, А. В. Рыбка, И. Н. Шляхов, А. А. Захарченко**

*Институт физики твердого тела, материаловедения и технологий ННЦ ХФТИ, Харьков*

Представлены результаты исследования спектрометрических характеристик CdTe (CdZnTe) детекторов при регистрации гамма-излучений в диапазоне 15 - 500 кэВ и альфа-излучений в диапазоне 4 - 8 МэВ. Было показано, что такие детекторы могут быть использованы для решения аналитических задач с определением элементов от лантана до плутония с регистрацией характеристического излучения К-серии и спектрометрии частиц в методе ядерных реакций и при идентификации изотопов.

**Введение**

Полупроводниковые детекторы на основе кристаллов CdTe (CdZnTe) в последнее время находят все более широкое применение при регистрации гамма-излучения. Благодаря совершенствованию технологии производства создаются кристаллы с необходимыми, а в некоторых случаях уникальными физическими свойствами, что позволяет получать на их основе блоки детектирования ионизирующего излучения с хорошими спектрометрическими и эксплуатационными характеристиками. Они отличаются высокой эффективностью регистрации излучения, относительно хорошим соотношением сигнал/шум и энергетическим разрешением при комнатной температуре. Линейность в счетном и токовом режимах работы в широком диапазоне измеряемой мощности дозы и высокая радиационная стойкость этого материала [1] позволяет использовать его при производстве дозиметрических блоков с высоким радиационным ресурсом. Это определяет все более перспективное использование детекторов на основе CdTe и CdZnTe как в системах дозиметрического контроля (например, на АЭС, на предприятиях по производству и переработке ядерного топлива, при экологическом контроле), так и в спектрометрических системах (например, для анализа радионуклидов, в ядерно-физических методах элементного анализа и др.)

Целью данной работы было испытание изготовленных ННЦ ХФТИ полупроводниковых детекторов из CdTe (CdZnTe) в полях рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне энергий 10 - 500 кэВ, а также исследование возможности применения разработанных и изготовленных детекторов для регистрации заряженных частиц с энергией до нескольких десятков МэВ. В данном сообщении представлены результаты исследования характеристик нескольких детекторов, а детектор заряженных частиц, кроме того, также был опробован в аналитической установке для

анализа содержания кислорода в окисной пленке на цирконии и в покрытии из оксида титана.

**Экспериментальное оборудование и проведение измерений**

**Спектрометрия рентгеновского и гамма-излучения**

Во многих точках процесса переработки отработанного ядерного топлива необходим элементный анализ на содержание америция, урана, нептуния, плутония [2]. При переработке отходов электронной промышленности с выделением золота, платины, серебра, осуществления геологоразведки, добычи и переработки руды с извлечением редкоземельных, драгоценных металлов, урана также требуется надежное аналитическое сопровождение. Для решения всех этих задач может быть привлечен рентгенофлуоресцентный анализ с регистрацией характеристического рентгеновского излучения К-серии определяемых элементов [3]. В настоящее время в таких системах используются полупроводниковые детекторы на основе особо чистого германия. При этом возникают серьезные ограничения применимости метода, особенно в полевых условиях, связанных с использованием охлаждения кристалла детектора жидким азотом. Хорошей альтернативой этому решению представляются детекторы на основе кристаллов CdTe (CdZnTe) с небольшой толщиной, работающие при комнатной температуре.

Исследовались спектрометрические характеристики детекторов гамма-излучения толщиной 0,8 и 2 мм. Кристаллы последовательно помещались в блок с предварительным усилителем разработки ННЦ ХФТИ непосредственно за входным бериллиевым окном. Выходной сигнал с предусилителя поступал на спектрометрический тракт, состоящий из стандартного спектрометрического усилителя и многоканального анализатора импульсов. Через последовательный интер-

фейс спектрометрическая информация выводилась на персональный компьютер для ее дальнейшей обработки. Для каждого детектора экспериментальным путем были выбраны оптимальные величины напряжения смещения, времени формирования импульсов, коэффициент усиления. В качестве источников гамма-излучения служили изотопы  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ . Характеристики источников приведены в табл. 1. Источник и детектор устанавливались

соосно и на расстоянии, позволяющем не учитывать размеры источника. Для изучения эффективности регистрации излучения от площади чувствительной поверхности детектора между источником излучения и блоком детектирования в отдельных измерениях устанавливался свинцовый коллиматор толщиной 15 мм с различными диаметрами отверстий. Измерение характеристик детекторов производилось на стенде показанном на рис. 1.

Таблица 1. Характеристики источников гамма-излучения

Изотоп	Активность, Бк	Энергия излучения, кэВ	Выход на распад
$^{241}\text{Am}$	$1 \cdot 10^5$	26.34	0.024
		33.20	0.001
		59.54	0.360
$^{152}\text{Eu}$	$3 \cdot 10^4$	39.9	0.591
		45.7	0.148
		121.8	0.2837
		244	0.068
		344	0.245
		411	0.020
$^{137}\text{Cs}$	$7,4 \cdot 10^4$	443	0.029
		31.8	0.0196
		32.2	0.0362
$^{57}\text{Co}$	$6,2 \cdot 10^3$	36.4	0.0132
		14.41	0.0916
		122.06	0.856
		136.47	0.107

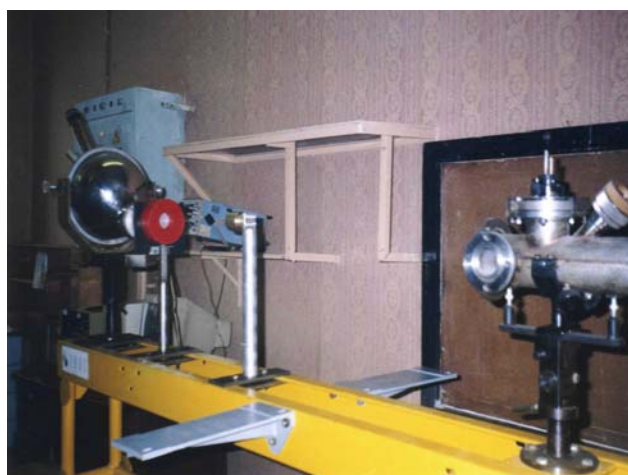


Рис. 1. Стенд для исследования спектрометрических характеристик детекторов.

На рис. 2 представлены спектры  $^{241}\text{Am}$  и  $^{152}\text{Eu}$ , полученные на CdZnTe детекторе с толщиной кристалла 0,8 мм. На кристалл детектора подавалось напряжение смещения 70 В, постоянная времени формирования составляла 2 мкс. Рабочая поверхность детектора при измерениях не коллимировалась. Для линии 40.11 кэВ ( $K_{\alpha 1}$ -

линия Sm, образующегося в результате  $\beta^+$  распада атомов изотопа  $^{152}\text{Eu}$ ) полная ширина на половине высоты составляет около 5 кэВ, что соответствует относительному разрешению 12 %. На рис. 3 представлен спектр  $^{57}\text{Co}$ , время набора 600 с.

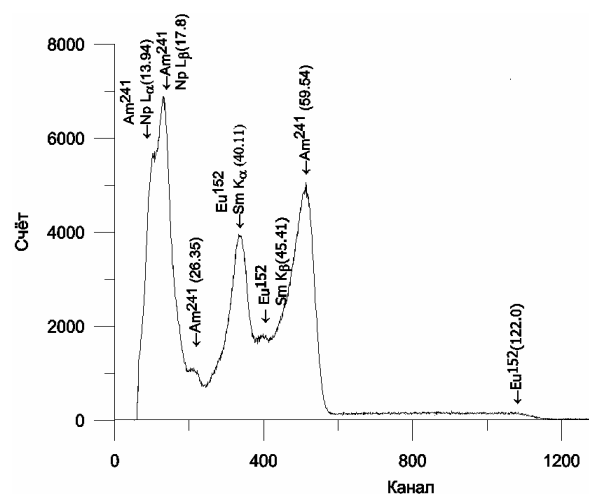
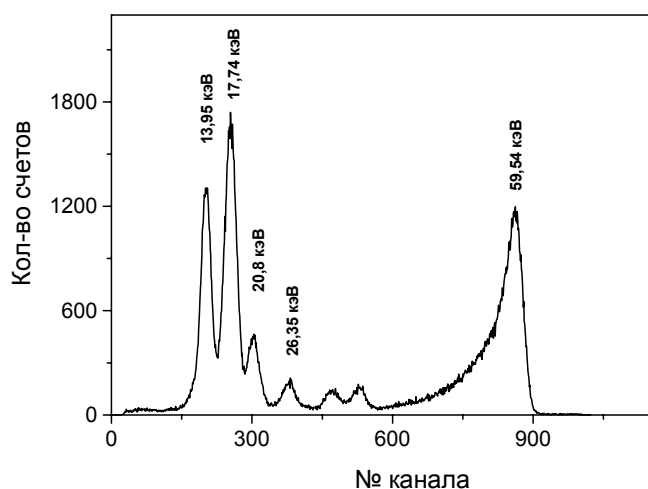


Рис. 2. Спектр гамма-излучения  $^{241}\text{Am}$  и суммарный  $^{241}\text{Am}$  и  $^{152}\text{Eu}$ .

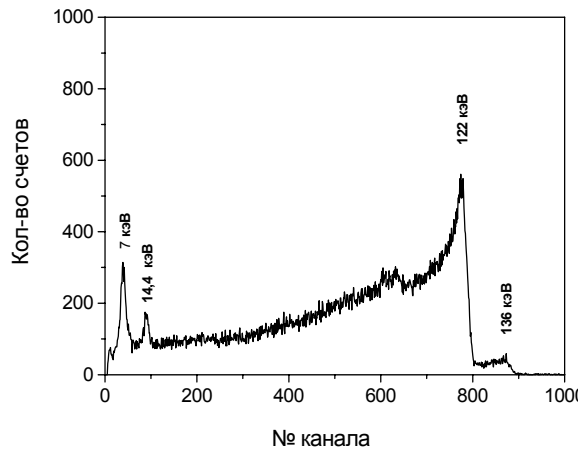


Рис. 3. Спектр  $^{57}\text{Co}$ , полученный БД с CdZnTe детектором.

Представленные результаты показывают возможность использования детекторов на основе CdTe (CdZnTe) для регистрации характеристического рентгеновского излучения К-серии тяжелых элементов при рентгенофлуоресцентном анализе и спектрометрии.

#### Спектрометрия альфа-излучения

Кроме гамма-излучения, исследовались спектрометрические характеристики CdZnTe как детектора заряженных частиц. Кристалл детектора размером  $5 \times 5 \times 1$  мм помещался в экранированную камеру. В качестве предварительного спектрометрического усилителя применялся зарядочувствительный предусилитель ПУ-Г-1К2. Остальная часть спектрометрического тракта такая же, как описано выше. Напряжение смещения на детекторе было выбрано равным 100 В, время формирования 2 мкс. С помощью коллиматора диаметром 3 мм выбиралась рабочая область в центре кристалла. Для изучения характеристик детектора и выбора оптимальных условий его работы использовались следующие источники альфа-частиц:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ . Характеристики источников приведены в табл. 2. Источники поочередно размещались на расстоянии 1,5 мм от поверхности кристалла. Измерения проводились в воздухе.

В качестве практического приложения этот детектор был использован для регистрации заряженных частиц в установке элементного анализа вещества ядерно-физическими методами на аналитическом комплексе «Сокол» [4]. Ускоренные ионы (в экспериментах использовались протоны и ионы  $\text{H}_2^+$  из ускорителя через ионопровод попадали на исследуемый образец, установленный в измерительной камере. Под углом  $135^\circ$  к пучку протонов на расстоянии 170 мм от мишени размещался детектор частиц. Детектор регистри-

Таблица 2. Характеристики источников альфа-излучения

Изотоп	Активность, Бк	Энергия частиц, МэВ
$^{226}\text{Ra}$	$4,2 \cdot 10^4$	4750
		5455
		5968
		7653
$^{233}\text{U}$	$3,75 \cdot 10^4$	4824
$^{238}\text{Pu}$	$3,99 \cdot 10^4$	5499
$^{239}\text{Pu}$	$3,95 \cdot 10^3$	5107
		5145
		5157

ровал альфа-частицы из реакции  $^{18}\text{O}(p, \alpha)^{15}\text{N}$ . Измерения проводились при следующих условиях: энергия протонов 730 кэВ; ток пучка 5 мкА; заряд протонов, накопленный на мишени, 10 мкКл. В качестве мишеней использовались фольга из циркония с созданной окисной пленкой на поверхности и стекловидная пластинка с покрытием из оксида титана. Поверхности мишеней были ориентированы перпендикулярно оси пучка протонов. Для выбранных энергии протонов и угла детектирования энергия альфа-частиц, возникающих в результате указанной ядерной реакции, составляла 3,45 МэВ. Для подавления рассеянных протонов между мишенью и детектором был помещен фильтр из майлара толщиной 8 мкм.

На рис. 4 приведен спектр альфа-частиц, полученный от источника  $^{226}\text{Ra}$ . На рис. 5 показан полученный с использованием детектора с кристаллом на основе CdTe спектр альфа-частиц из реакции  $^{18}\text{O}(p, \alpha)^{15}\text{N}$ . В качестве мишени использовался окисный слой  $\text{ZrO}_2$  толщиной 4160 Å, нанесенный на циркониевую фольгу. Уширение пика обусловлено энергетическим страгглингом регистрируемых детектором альфа-частиц в анализируемом слое мишени и в материале майларового фильтра, используемого для подавления обратно рассеянных протонов.

#### Выводы

Проведенные исследования показали возможность использования детекторов на основе CdTe (CdZnTe) для регистрации характеристического рентгеновского излучения К-серии тяжелых элементов при рентгенофлуоресцентном анализе и спектрометрии гамма-излучения.

Блоки детектирования с детекторами из CdZnTe, при комнатных температурах, обладают удовлетворительным энергетическим разрешением для решения некоторых практических задач.

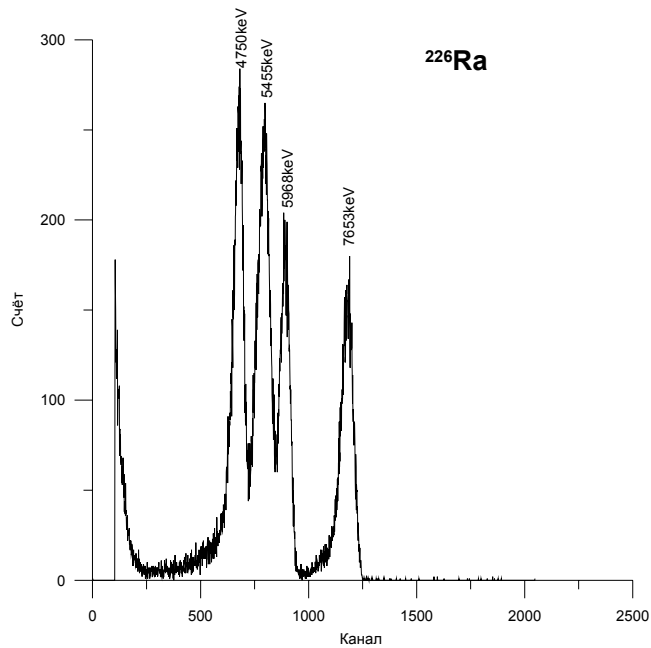


Рис. 4. Спектр альфа-частиц от источника  $^{226}\text{Ra}$ .

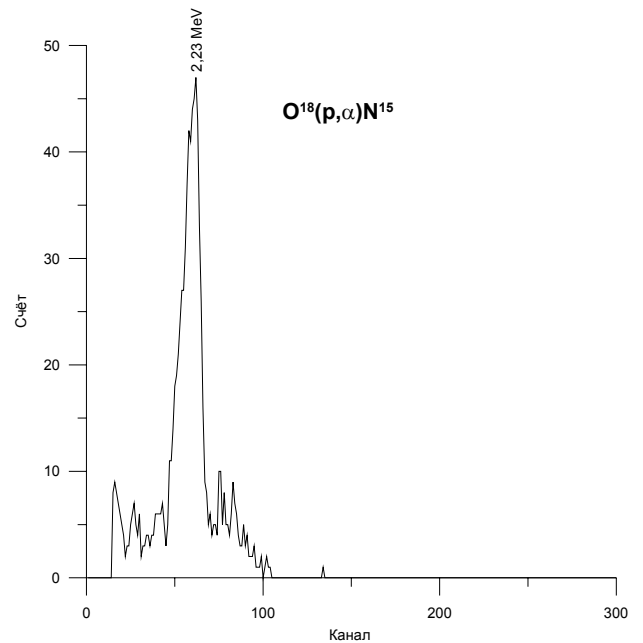


Рис. 5. Спектр альфа-частиц из реакции  $^{18}\text{O}(p,\alpha)^{15}\text{N}$ .

Разработан и создан спектрометр ионизирующего излучения, который может применяться как анализатор спектра радионуклидов в диапазоне энергий от 20 кеВ до 3 МеВ с энергетическим разделением до 10 % (59,6 кеВ,  $^{241}\text{Am}$ ).

Проведенные исследования показали, что блок детектирования на основе CdZnTe может использоваться для спектрометрии заряженных частиц.

Расширение области применения таких детек-

торов возможно посредством дальнейшего улучшения их спектрометрических характеристик. Это может быть достигнуто как за счет повышения качества изготовления самого кристалла, так и улучшением параметров других узлов блока детектирования, например снижением шумов путем охлаждения кристалла посредством использования термоэлектрических охладителей, а также использованием процессора для предварительной обработки импульсов по форме.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Rybka A.V., Davydov L. N., Shlyakhov I. N. et al. Gamma-radiation dosimetry with semiconductor CdTe and CdZnTe detectors // Nucl. Instr. and Met. A. - 2004. - Vol. 531, No. 1 - 2. - P. 147 - 156.*
2. *Клыгин А.Е., Кононов А.Н., Пастухов В.Г. Аналитический дистанционный и лабораторный контроль переработки твэлов АЭС // Атомная энергия. - 1974. - Т. 37, вып. 6. - С 401 - 406.*
3. *Левенец В.В. О возможностях ядерно-физических методов анализа // Сб. науч. тр. Междунар. конф.*
4. *Бондаренко В.Н., Глазунов Л.С., Гончаров А.В. и др. Аналитический ядерно-физический комплекс «Сокол» // Материалы V Междунар. конф. „Взаимодействие излучения с твердым телом”, ВИТТ-2003. - Минск, Беларусь, 2003. - С. 329 - 331.*

#### СПЕКТРОМЕТРІЯ ГАММА- ТА АЛЬФА-ВИПРОМІНЮВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИМИ ДЕТЕКТОРАМИ НА ОСНОВІ CdTe (CdZnTe)

**В. В. Левенець, О. П. Омельник, А. О. Щур, В. М. Борисенко,  
В. С. Кутній, О. В. Рибка, І. М. Шляхов, О. О. Захарченко**

Представлено результати дослідження спектрометричних характеристик CdTe (CdZnTe) детекторів при реєстрації гамма-випромінювання в діапазоні 15 - 500 кеВ і альфа-випромінювання в діапазоні 4 - 8 МеВ. Було показано, що такі детектори можуть бути використані для вирішення аналітичних задач по визначенню елементів від лантану до плутонію з реєстрацією характеристичного рентгенівського випромінювання К-серії і спектрометрії частинок у методі ядерних реакцій і при ідентифікації ізоотопів.

**DETECTORS FROM CdTe AND CdZnTe FOR SPECTROMETRY GAMMA  
AND ALPHA OF RADIATIONS**

**V. V. Levenets, O. P. Omelnyk, A. O. Shchur, V. M. Borysenko,  
V. E. Kutny, A. V. Rybka, I. N. Shlyakhov, O. O. Zakharchenko**

Results of examination of spectrometer performances CdTe (CdZnTe) detectors are submitted at recording gamma radiations in a range of 15 - 500 keV, and alpha radiations in a range of 4 - 8 MeV. It was shown, that such detectors may be used for the solution of analytical problems with definition of elements from lanthanum up to plutonium with recording X-ray of K-series and a spectrometry of particles in the method of NRA and at identification of isotopes.

Поступила в редакцию 23.06.06,  
после доработки - 19.06.07.