

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ АЛЬФА-ИЗЛУЧЕНИЯ

А.С. Соколов, Д.Д. Бурдейный, А.О. Пудов, А.А. Захарченко,  
А.В. Рыбка, В.Е. Кутний

*Национальный Научный Центр «Харьковский Физико-Технический Институт», ул.  
Академическая 1, Харьков 61108, Украина  
[pudov@kipt.kharkov.ua](mailto:pudov@kipt.kharkov.ua)*

**Резюме:** Данная работа посвящена исследованию и сравнению характеристик радиационных детекторов на основе кристаллов CdZnTe и CdMnTe. Кристаллы выращены методом Бриджмена под высоким давлением инертного газа. Изготовлена установка и разработана методика измерения эффективности сбора заряда и произведения времени жизни и времени жизни неравновесных электронов. На основании измерений проведено сравнение характеристик материалов различного качества.

**Ключевые слова:** детекторы, альфа-излучение, CdZnTe, CdMnTe, подвижность электронов, время жизни носителей заряда

### 1. Введение

Полупроводниковые кристаллы с высоким удельным сопротивлением широко используются при изготовлении детекторов ионизирующего излучения для самых разных целей – от обеспечения нераспространения ядерных материалов до создания изображений в рентгеновском и гамма-диапазоне в медицине, в охране окружающей среды и других областях. По сравнению с широко известными и зарекомендовавшими себя Si и Ge, на данном этапе перспективными, но менее исследованными, являются такие высокоомные материалы как CdTe и CdZnTe (CZT), CdMnTe (CMT). Высокое сопротивление полупроводников и их высокое значение произведения  $\mu \times \tau$  (произведение подвижности носителей заряда и времени их жизни) являются принципиальными характеристиками для хорошего радиационного детектора-спектрометра. В этом случае обеспечивается хорошее собирание заряда и высокое энергетическое разрешение детектора. Данная работа посвящена характеристике и сравнению радиационных детекторов на основе кристаллов CZT и CMT. Изготовлена установка и разработана методика измерения эффективности сбора заряда и произведения  $\mu \times \tau$  неравновесных электронов. На основании измерений проведено сравнение характеристик материалов различного качества; обсуждаются способы улучшения свойств кристаллов.

### 2. Эксперимент

Слитки CZT (5 ат. % Zn) и CMT (2,5 ат. % Mn) были выращены методом Бриджмена под высоким давлением инертного газа в Харьковском Институте Монокристаллов из высоко чистых исходных материалов (чистота не менее 99,9999%). Методика выращивания CZT описана в [1], похожая методика использовалась для выращивания кристаллов CMT. Электро-физические характеристики исходных слитков были относительно невысоки. В слитках были выбраны области с монокристаллической структурой, и из них были изготовлены кристаллы размером  $\sim 5 \times 5 \times 3$  мм<sup>3</sup>. Далее поверхности кристаллов были подвержены шлифовке и химическому травлению, после

чего, осаждением из раствора, были нанесены контакты из Au. Изготовленные структуры Au/(CZT или СМТ)/Au являются детекторами с омическими контактами (Рис. 1).

Для анализа электрического сопротивления детекторов, при помощи пикоамперметра Keithley 6485, измерялись их вольт-амперные характеристики. Образцы обладали сопротивлением в диапазоне  $10^9$ - $10^{11}$  Ом.

Измерения амплитудных распределений сигнала детекторов под воздействием альфа-частиц проводились с использованием спектрометрического тракта из компонентов от компании Ortec и Amptek. Для устранения ослабления энергии частиц в воздухе при измерении спектров  $\alpha$ -излучения нами была изготовлена специальная вакуумная камера (Рис.2).

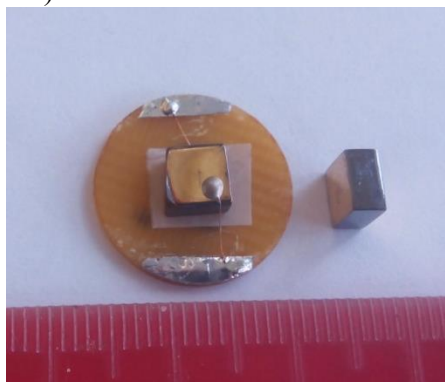


Рис. 1. Детектор на основе соединения CdZnTe ( $5 \times 5 \times 3$  мм<sup>3</sup>)

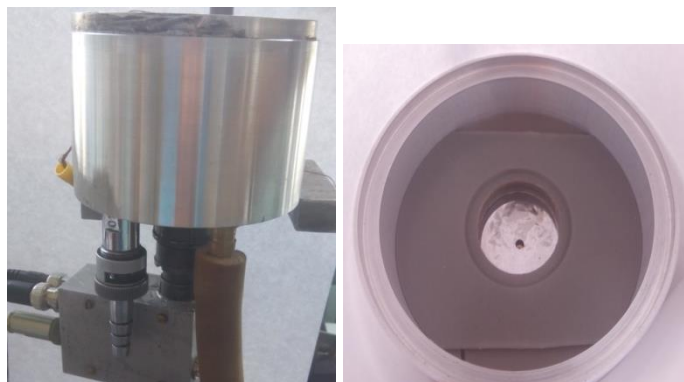


Рис. 2. Разработанная вакуумная камера для измерения спектров альфа-излучения (виды сбоку и сверху)

Произведена калибровка спектрометрического тракта в единицах электрического заряда. Для этого сначала измерялись спектры (Рис.3), созданные при помощи генератора импульсов Ortec 419. Данные спектры позволили откалибровать шкалу номеров канала анализатора в единицах электрического заряда (Рис. 4).

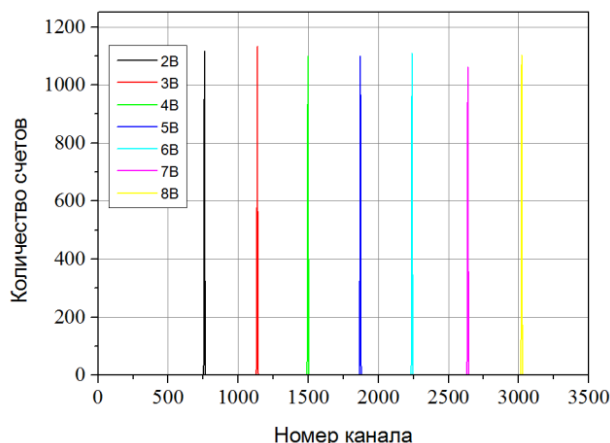


Рис. 3. Амплитудное распределение сигнала тестового генератора Ortec 419 в зависимости от амплитуды импульса

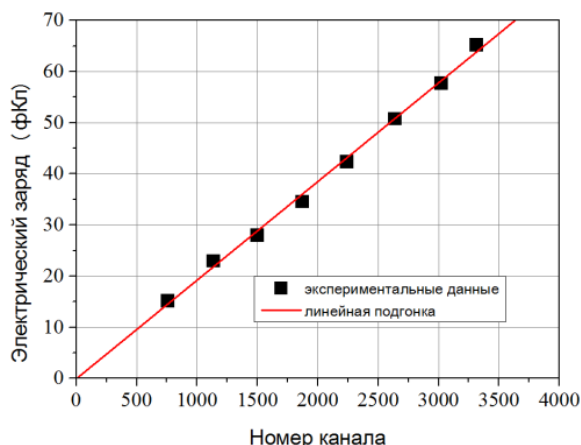


Рис. 4. Калибровочная кривая, построенная на основе данных Рис. 3.

Для определения произведения  $\mu \times \tau$  кристаллов CZT и СМТ сначала определялись оптимальные условия измерения спектров от альфа-источников в вакууме, а именно

диапазон возможных напряжений смещения, коэффициент усиления и время формирования сигнала. Затем измерялись спектры стандартных источников  $\alpha$ -частиц  $^{239}\text{Pu}$  или  $^{226}\text{Ra}$  при разных напряжениях смещения. Расчет  $\mu \times \tau$  производился по зависимости рассчитанной эффективности сбора заряда от приложенного напряжения смещения по уравнению Хехта [2]:

$$CCE_e = \frac{Q_{ind}}{Q_0} = \frac{\mu_e \tau_e E}{L} (1 - \exp(-\frac{L}{\mu_e \tau_e E})), \quad (1)$$

где  $CCE_e$  — эффективность сбора заряда,  $Q_0$  — величина заряда созданного альфа-частицей,  $Q_{ind}$  — величина собранного заряда,  $\mu_e$  — подвижность электрона,  $\tau_e$  — время жизни электрона,  $E$  — напряженность электрического поля,  $L$  — длина пробега носителя заряда. Одной из основных и важных характеристик в данном выражении является произведение подвижности электронов на время жизни электронов. Поле  $E$  определяется как отношение напряжения приложенного к контактам на толщину детекторов.

### 3. Результаты

На Рис. 5 приведен график спектров стандартного источника  $\alpha$ -частиц  $^{239}\text{Pu}$ , измеренных детектором на основе CdZnTe при разных приложенных напряжениях. Энергетическое разрешение детектора, рассчитанное из этих данных, составляет  $\approx 4\%$  (для энергии 5,1 МэВ). Из графика была рассчитана зависимость эффективности сбора заряда (CCE) от напряжения (Рис. 6), по которой по уравнению Хехта рассчитывалось произведение  $\mu \times \tau$ . Для детектора на основе CdMnTe были измерены подобные спектры, однако спектральные линии на них не были так отчетливо различимы, как для CdZnTe. Следовательно, они не обладают характеристиками спектрометрического детектора, но вполне подходят для работы в счетном режиме, например, в дозиметрах. Для СМТ CCE рассчитывалось по краю спектра, и соответствующие данные и расчет  $\mu \times \tau$  также представлены на Рис. 6.

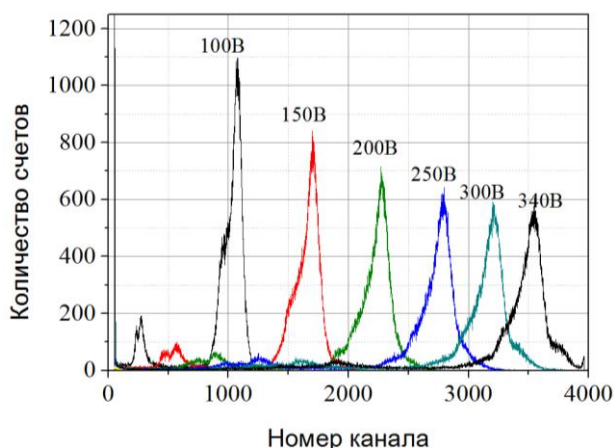


Рис. 5. Спектры стандартного источника  $^{239}\text{Pu}$ , измеренные детектором на основе CdZnTe при разных приложенных напряжениях.

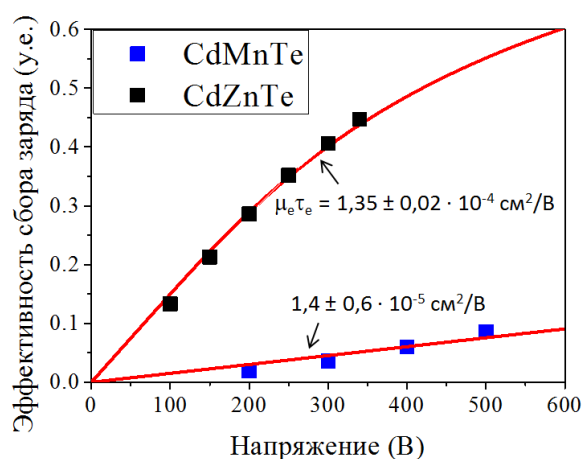


Рис. 6. Зависимости эффективности сбора заряда от приложенного напряжения для детекторов на основе CdZnTe и CdMnTe.

#### 4. Выводы

По результатам эксперимента у лучших из проанализированных детекторов на основе CZT произведение  $\mu \times \tau$  было равно  $\sim 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/В. Разрешение по энергии спектров альфа-частиц (по FWHM) составляло  $\approx 4\%$  (для энергии 5,1 МэВ). Такие характеристики исследованных CZT детекторов далеки от оптимальных (см. например [3]). Исследованные образцы детекторов на основе СМТ имели на порядок худшие характеристики, и не обладали спектрометрической способностью; однако их можно использовать в качестве счетчиков альфа-частиц. Ведутся работы по дальнейшей оптимизации детекторов (спектрометров и счетчиков) на основе кристаллов CZT и СМТ.

#### Благодарность

Авторы благодарят Украинский Научно-Технический Центр (проект УНТЦ № 9903) за финансирование работы.

#### Литература

1. L. Davydov, P. Fochuk, A. Zakharchenko, V. Kutny, A. Rybka, N. Kovalenko, S. Sulima, I. Terzin, A. Gerasimenko, M. Kosmyna, V. Sklyarchuk, O. Kopach, O. Panchuk, A. Pudov, A. E. Bolotnikov, and R. B. James, Improving and Characterizing (Cd,Zn)Te Crystals for Detecting Gamma-Ray Radiation, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 62, No.4, Aug. 2015, pp. 1779-1784.
2. А.А. Захарченко, В.Е. Кутний, Д.В. Наконечный, И.М. Прохорец, А.В. Рыбка, М.А. Хажмурадов, *Методы определения параметров переноса заряда в CdTe (CdZnTe) детекторах гамма-излучения*. Вестник Харьковского Университета № 784, 2007. Серия физическая: Ядра, частицы, поля, вып. 4/36, стр.85-92.
3. J. Suh, S. Hwang, H. Yu, Y. Yoon, A. E. Bolotnikov, R. B. James, *High-Temperature Annealing of CdZnTe Detectors*, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 64, No. 12, Dec. 2017, pp. 2966-2969.

#### A STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF SEMICONDUCTOR-BASED DETECTORS OF ALPHA-RADIATION

**A.S. Sokolov, D.D. Burdeyniy, A.O. Pudov, A.A. Zakharchenko, A.V. Rybka, V.E. Kutny**

*National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology", 1 Akademicheskaya St., Kharkov 61108, Ukraine.*  
[pudov@kipt.kharkov.ua](mailto:pudov@kipt.kharkov.ua)

**Abstract:** This paper presents a study and comparison of the characteristics of radiation detectors based on CdZnTe and CdMnTe crystals. The crystals are grown by the Bridgman method under high pressure of an inert gas. A special setup was made and the method for measuring the efficiency of charge collection and was developed. Based on the measurements, the characteristics of materials of different quality were compared.

**Keywords:** detectors, alpha-radiation, CdZnTe, CdMnTe, the product of the electron mobility and lifetime

**YARIMKEÇİRİCİ ƏSASLI ALFA-RADİASİYA DETEKTORUNUN  
XÜSUSİYYƏTLƏRİNİN TƏDQIQI**

**A.S. Sokolov, D.D. Burdeyniy, A.O. Pudov, A.A. Zaxarçenko, A.V. Rıbka, V.E. Kutniy**

*Milli Elm Mərkəzi “Xarkov Fizika və Texnologiya İnstitutu”, Akademiçeskaya küç 1, Xarkov  
61108, Ukrayna  
[pudov@kipt.kharkov.ua](mailto:pudov@kipt.kharkov.ua)*

**Xülasə:** Təqdim olunan məqalədə CdZnTe və CdMnTe kristallarına əsaslanan radiasiya detektorlarının xüsusiyyətləri tədqiq və müqayisə olunmuşdur. Kristallar inert bir qazın yüksək təzyiqi altında Bridgman üsulu ilə yetişdirilmişdir. Xüsusi bir cihaz quraşdırılmış və yük toplanmanın səmərəliliyinin ölçülməsi metodu hazırlanmışdır. Ölçmələrə əsasən, müxtəlif keyfiyyətli materialların xüsusiyyətləri müqayisə olunmuşdur.

**Açar sözlər:** detektor, alfa-radiasiya, CdZnTe, CdMnTe, elektron hərəkətliliyi, yükdaşıyıcıların ömrü