

УДК 621.375

<sup>1</sup>О.В. Маслов, д.т.н., доц.<sup>2</sup>О.В. Банзак, к.т.н., доц.<sup>3</sup>А.В. Карпенко**ИССЛЕДОВАНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДАТЧИКОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОНОКРИСТАЛЛОВ CdZnTe**<sup>1</sup>Одесский национальный политехнический университет<sup>2</sup>Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова<sup>3</sup>Военный институт Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

*В данной работе для создания датчика гамма-излучения использовались монокристаллы CdZnTe размерами (5...9)х(5...9)х2 мм с удельным сопротивлением (0,6... 1,5)·10<sup>9</sup> Ом·см. Омические контакты покрывали наибольшие грани и создавались химическим нанесением золота. Датчики исследовались при напряжении питания ±200 В, температуре +21°С и выдержке в темноте в течение 24 и 48 часов. По этим данным рассчитаны значения сопротивления образцов и удельного сопротивления материалов.*

**Ключевые слова:** датчика гамма-излучения, зарядный пакет, монокристаллы.

**Вступление:** Разработка современных блоков детектирования, предназначенных для измерения мощности дозы гамма-излучения в воздухе, в составе систем радиационного контроля АЭС является важной и актуальной задачей. Находящиеся в настоящее время в эксплуатации блоки детектирования системы АКРБ-03 выработали свой ресурс (АКРБ — аппаратура контроля радиационной безопасности). А сама система, разработанная более 20-ти лет назад, не только выработала свой ресурс, но и морально устарела. Очевидно, что новые блоки детектирования должны обладать более высокими метрологическими и эксплуатационными показателями, чем подлежащие замене. Существенный прорыв в направлении улучшения метрологических и эксплуатационных характеристик детекторов может быть получен только на основе применения новых материалов, в частности, широкозонных полупроводников, таких как CdZnTe.

**Основные результаты и научная новизна исследования:** Намечившиеся тенденции в создании детекторов, имеющих большую площадь, диктуют жесткие требования к контролю свойств твердого раствора  $Cd_{1-x}Zn_xTe$ , а также к локальной однородности материала.

Как правило, недостатки не позволяют создавать на основе исходных кристаллов CdZnTe качественные датчики гамма-излучения. Для решения такой задачи необходимо устранить в них исходные дефекты и комплексы. Выбор возможной технологии обработки кристаллов осуществляется на основании данных неразрушающего контроля.

Для создания датчика гамма-излучения использовались монокристаллы CdZnTe размерами (5...9)х(5...9)х2 мм с удельным сопротивлением (0,6... 1,5)·10<sup>9</sup> Ом·см [2]. Омические контакты покрывали наибольшие грани и создавались химическим нанесением золота. Датчики исследовались при напряжении питания ±200 В, температуре +21°С и выдержке в темноте в течение 24 и 48 часов. Для всех образцов измерялись исходные ВАХ в диапазоне напряжений ± 200 В при комнатной температуре (+21°С) и различной выдержкой в темноте (24 и 48 часов). ВАХ в диапазоне ± 100В близки к линейному закону. По этим данным рассчитаны значения сопротивления образцов и удельного сопротивления материалов. Эти значения оказались на 10...20% ниже данных завода-изготовителя (табл. 1). Это означает, что контакты по свойствам близки к омическим, инжекция носителей выражена слабо. В области напряжений более 100В ВАХ становятся надлинейными. В электрических полях выше 0,5 × 10<sup>3</sup> В/см происходит термополевое освобождение центров захвата носителей заряда. При этом резко возрастают токовые шумы кристаллов в низкочастотной области спектра (до 10 кГц). Амплитуда шумов, приведенная к входу усилителя была на уровне 1 – 5 мВ при напряжениях питания кристалла более 100В. Амплитуда импульса от источника гамма-излучения <sup>137</sup>Cs примерно такая же, поэтому спектрометрические измерения на исходных кристаллах практически не возможны при нормальных рабочих напряжениях. Исходные спектры от источника гамма-излучения <sup>137</sup>Cs снимались при напряжениях 50 и 100 В. Примеры типичных исходных спектров кристаллов приведены на рис. 1.

Таблиця 1

## Основные характеристики CdZnTe производства АО "Чистые металлы"

№ обр.	U <sub>к</sub> , В	R <sub>кр</sub> <sup>+</sup> , ГОм		R <sub>кр</sub> <sup>-</sup> , ГОм		Уд.сопр. <sup>+</sup> , ГОм·см		Уд.сопр. <sup>-</sup> , ГОм·см		d, мк м	S, мм×мм
		за в.	ла б.	за в.	ла б.	за в.	ла б.	за в.	ла б.		
5Ч-01	100	2,4	0,89	1,9	0,80	3,5	1,3	2,7	1,18	1770	5,2×5
5Ч-03	100	1,9	1,08	1,6	1,00	3,0	1,68	2,5	1,56	1870	5,6×5,2
5Д-02	100	1,8	1,33	1,3	1,15	3,4	2,50	2,5	2,16	1645	6,2×5
5Д-03	100	2,2	1,22	1,9	1,10	3,3	1,81	2,9	1,64	1790	5,3×5,1
5С-02	100	1,9	2,00	1,4	2,00	2,5	2,58	1,8	2,58	1635	4,6×4,6
5С-03	100	1,4	1,60	0,9	1,43	1,7	2,03	1,2	1,82	1600	4,5×4,5
5Д-01	100		0,23		0,22		0,43		0,41	1790	5,3×5,1

Нормальный режим собирания зарядового пакета, поглощенного гамма-кванта требует электрических полей  $(1...2) \cdot 10^5$  В/м, что при толщине кристалла 2 мм соответствует рабочему напряжению 200...400 В [4]. Однако длительное воздействие электрического тока (100—200 ч) уже при  $0,5 \cdot 10^4$  В/м резко увеличивает уровень шума и 10—40 раз уменьшает удельное сопротивление в исходных кристаллах.

Возникло предположение, что резкое возрастание тока и шумов обусловлено значительной концентрацией центров захвата носителей заряда, неравномерно распределенных по ширине запрещенной зоны CdZnTe (рис.3). При охлаждении до минус 15°C шумы кристалла и ток уменьшались в десятки раз, что позволяет говорить о термополевым характере механизма возбуждения этих центров.

Для оценки энергетической глубины и распределения этих центров собрана установка для измерения спектров термостимулированной проводимости (ТСП) кристаллов. Суть метода в следующем:

1. Кристалл детектора при небольшом напряжении (10 – 20 В) охлаждаются до  $T = -15^\circ\text{C}$ .
2. При низкой температуре освещают светом широкого спектра. В этом случае, имеющиеся центры захвата заполняются носителями заряда.

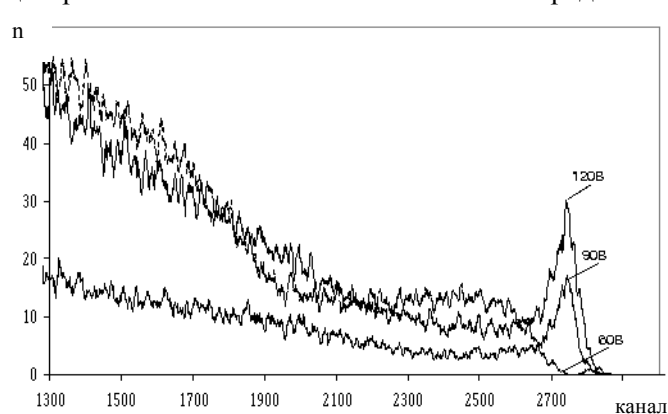


Рис. 1. Аппаратурные спектры  $^{137}\text{Cs}$ , измеренные детектором на CdZnTe.

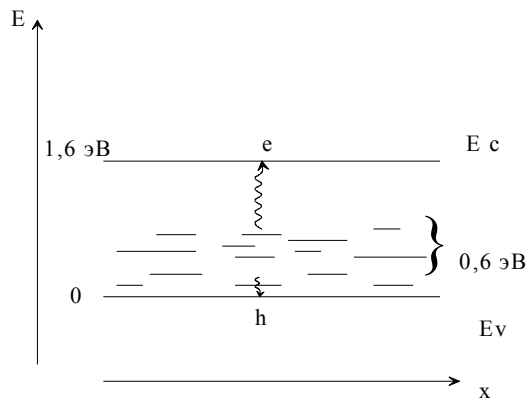


Рис. 2. Зонная диаграмма CdZnTe.

3. Кристалл нагревают с известной скоростью и измеряют зависимость тока от температуры  $I = f(T) \left| \frac{dT}{dt} = const \right.$ . При определенных значениях  $T$  происходит освобождение электронов из центров имеющих различную энергетическую глубину.

На кривой ТСП появятся максимумы, соответствующие имеющимся центрам захвата (1) (рис.3). Изменяя  $T_1$  и  $T_2$ , при различных  $\frac{dT}{dt} = const$ , можно определить энергию центров  $E_a$  и оценить их концентрацию  $N_a$ . В случае отсутствия центров зависимость  $I = f(T)$  является экспонентной (кривая 2 на рис.3).

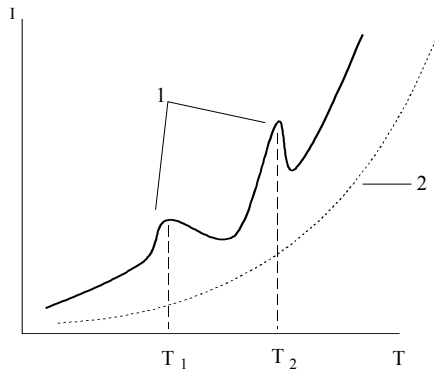


Рис.3. Спектр термостимулированной проводимости CdZnTe.

1- кристалл имеет центры захвата в запрещенной области, 2 - центры захвата в запрещенной области отсутствуют

примесями. В электрических полях с напряженностью  $0,5 \cdot 10^4$  В/м комплексы могут частично диссоциировать, образуя глубокие центры захвата носителей заряда. Это предположение подтверждается обнаруженным в кристаллах увеличением до 3—15 ч времени релаксации фотопроводимости и уровня флуктуационных шумов.

Известная возможность перемещения некоторых видов собственных дефектов в материалах  $A_{II}B_{VI}$  (CdTe) под одновременным воздействием электрического поля и повышенной температуры. В этом случае появляется возможность уменьшения концентрации собственных дефектов в кристалле при термополевой обработке (ТПО) из-за аннигиляции вакансий с межузельными атомами, а также выделения вакансий в кластеры и на поверхность.

С целью проверки возможности практического использования указанного явления была проведена серия ТПО при  $T=102-107$  °С и напряжении  $\pm 400$  В в течение 6 часов [3].

### Выводы

Анализ спектров ТСП позволил установить причины ухудшения свойств CdZnTe и предложить способы их устранения. Обнаружено, что в результате проведения ТПО значительно уменьшилась концентрация центров захвата, равномерно распределенных по запрещенной зоне. Примерно в  $5 \pm 8$  раз уменьшилась амплитуда шума, что дало возможность поднять рабочее напряжение кристалла до  $200 \div 400$  В. Кроме того, проведение ТПО стабилизирует долговременные характеристики кристалла и его надежность. ТПО, также, увеличила сопротивление кристалла на 20 % (с 1,2 ГОм до 1,5 ГОм). Сравнение спектров гамма-излучения  $^{137}\text{Cs}$ , измеренных до и после ТПО, показало общее улучшение формы, поскольку стали доступны более высокие рабочие напряжения. Правый скат пика полного поглощения становится круче.

### Список литературных источников

1. Мокрицкий В.А. Технично-економическіе задачи ефективного контролю безопасности АЭС / В.А. Мокрицкий, О.В. Маслов // Экономист. – 2011.– №8 – С.70–74.
2. Маслов О.В. Блок детектирования гамма-излучения на основе CdZnTe для систем радиационного контроля / О.В. Маслов, В.А. Мокрицкий, Ю.Е. Николаенко, М.В. Максимов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2005.– №3 (57) – С.15–18
3. Мокрицкий В.А. Обработка монокристаллов CdZnTe для применения в датчиках  $\gamma$ -излучения / В.А. Мокрицкий, С.В. Ленков, О.В. Маслов, С.А. Савельев // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2001.– №3 – С.9–10.
4. Банзак О.В., Маслов О.В., Мокрицкий В.А. Оценка влияния частоты дискретизации на погрешность измерения мощности дозы блоком детектирования на основе CdZnTe // 17 міжнародна науково-технічна конференція Леотест - 2012 Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів. – 2012. - № 17 – С. 15.