

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ CdTe И CdZnTe

*В. Е. Кутний, А. В. Рыбка, И. М. Прохорец, Л. Н. Давыдов, А. С. Абызов,
А. Н. Довбня, С. П. Карасев, В. Л. Уваров, И. Н. Шляхов
ННЦ ХФТИ, 61108, г. Харьков, Академическая, 1*

В полупроводниковых детекторах ионизирующих излучений в процессе их эксплуатации создаются радиационные повреждения, которые ухудшают свойства приборов и могут вывести их из строя. В спектрометрах ухудшается энергетическое разрешение, увеличивается ток утечки, положение фотопика сдвигается в сторону меньших значений энергии. В дозиметрах деградируют их счетные характеристики. Основной целью настоящего исследования было определение радиационного ресурса дозиметрических детекторов из CdTe и CdZnTe. Для испытаний были отобраны детекторы из CdTe и CdZnTe, не обладавшие спектрометрическими свойствами и использовавшиеся в дозиметрическом режиме. Получены зависимости счетных характеристик детекторов от величины поглощенной дозы. В частности, обнаружено, что CdZnTe сохраняет чувствительность к регистрации гамма-излучения в счетном режиме до значения поглощенной дозы 75 Мрад, в то время как радиационная деградация детекторов из CdTe наблюдается при меньших дозах (20 Мрад).

Твердотельные полупроводниковые детекторы ионизирующих излучений по своему назначению эксплуатируются в условиях, когда в них создаются радиационные повреждения. С точки зрения электронной структуры, облучение рентгеновскими и гамма-квантами приводит к изменению заселенности или появлению новых глубоких уровней в запрещенной зоне полупроводника, что приводит к уменьшению времени жизни носителей заряда и отражается на проводимости полупроводника. В полупроводниковых гамма-спектрометрах радиационные повреждения функционально вызывают ухудшение разрешения по энергии, увеличение тока утечки и сдвиг положения пика в сторону меньших значений энергии. В полупроводниковых детекторах-радиометрах происходит ухудшение счетных характеристик. Кроме того, в зависимости от химического состава полупроводника может происходить активация вещества в результате ядерных реакций под воздействием нейтронов и гамма-квантов.

Поэтому крайне важно знать радиационный ресурс полупроводниковых детекторов рентгеновского и гамма-излучения, в частности, детекторов на основе широкозонных соединений CdTe и CdZnTe, работающих при комнатной температуре. Интерес к этим полупроводниковым материалам в последнее время необычайно вырос (см., например, [1,2,3]). Однако имеющиеся литературные данные не дают возможность составить полную картину процессов, происходящих при облучении полупроводниковых детекторов. В тех немногих исследованиях, которые посвящены радиационным повреждениям в детекторах, работающих при комнатной температуре, основное внимание уделено воздействию тяжелых заряженных частиц (протоны, α -частицы) и нейтронов [4,5]. Облучение CdTe и CdZnTe гамма-квантами исследовалось в работах [6,7], причем изучалось влияние облучения на спектрометрические характеристики детекторов. Было установлено [7], что при малых дозах основной эффект облучения заключался

в уменьшении времени жизни носителей. При больших дозах наблюдаемое увеличение концентрации ряда глубоких центров захвата декомпенсировало материал и увеличивало концентрацию свободных носителей. Оказалось, что оба материала практически нечувствительны к дозам до 10 кГр. Существенное ухудшение спектрометрических свойств (размывание или исчезновение фотопика) как в $Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te$, так и в CdTe наблюдалось при дозах 30 кГр. Деградация спектрометрических свойств $Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te$ происходила пороговым образом, а CdTe — постепенно с набором дозы.

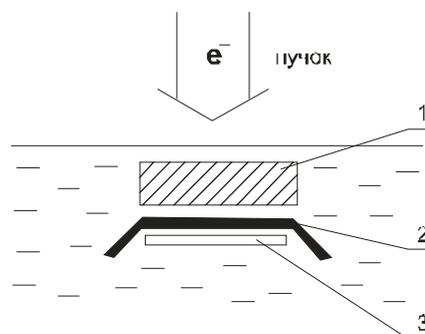


Рис. 1. Схема радиационной обработки: 1 – конвертер тормозного излучения; 2 – экран из свинца толщиной 5 мм; 3 – дозиметр

Хорошо известно, что для спектрометров применяются более совершенные кристаллы, чем для детекторов, работающих в дозиметрическом (счетном) режиме. Можно было предполагать, что последние окажутся менее чувствительны к облучению. Поэтому основной целью настоящего исследования было определение радиационного ресурса дозиметрических детекторов из CdTe и CdZnTe, т.е. величины поглощенной дозы гамма-излучения, при которой метрологические (счетные) характеристики детектора неприемлемо изменяются.

Для испытаний были отобраны образцы размером $5 \times 5 \times 2$ мм из CdTe, полученные методом Бриджмена при низком давлении газа, и CdZnTe, полу-

ченные методом Бриджмена при высоком давлении газа, вырезанные из одного монокристалла каждого типа соответственно. Еще раз подчеркнем, что образцы не обладали спектрометрическими свойствами (выделенный фотопик отсутствовал) и предназначались для использования в дозиметрическом режиме (для счета импульсов).

Радиационная обработка образцов проводилась в поле тормозного излучения ускорителя КУТ [8], работавшего в режиме со следующими параметрами:

Вероятное значение энергии электронов 11 МэВ
 Среднее значение тока пучка 430 мкА
 Частота сканирования пучка 3 Гц
 Ширина зоны сканирования пучка 40 см

Для определения мощности поглощенной дозы тормозного излучения были использованы промышленные дозиметры, схема размещения которых приведена на рис. 1.

Полученное в результате измерений значение мощности поглощенной в образцах дозы тормозного излучения составляло 7,5 Мрад/ч (75 кГр/ч) при величине ее неравномерности вдоль развертки пучка не более 8% и погрешности измерения мощности дозы не более 15%.

После калибровки поля излучения в местах размещения дозиметров были установлены упакованные в полиэтиленовую пленку образцы. По достижении заданного значения дозы пары образцов (CdTe и CdZnTe) извлекались из зоны облучения и направлялись на исследование.

Величина дозы D , полученной образцом в процессе радиационной обработки, определялась по формуле

$$D = D_k Q / Q_k,$$

где D_k — величина дозы, измеренная по дозиметру в процессе калибровки поля излучения; Q_k — соответствующий ей заряд пучка ускорителя; Q — заряд пучка за время обработки образца. Величина заряда Q устанавливалась путем интегрирования импульсов тока пучка, регистрируемых при помощи прозрачного магнитоиндукционного преобразователя. Погрешность измерения величины поглощенной дозы при этом не превышает 20%.

В процессе облучения все элементы охлаждались оборотной водой, причем температура дозиметров не превышала 40°C.

Проведенное исследование образцов непосредственно после окончания облучения показало наличие у них значительной интенсивности наведенного излучения (темновой скорости счета). Для анализа его природы были измерены спектры γ -излучения облученных образцов с помощью аналогичных CdTe детекторов, обладающих спектрометрическими свойствами, и той же схемы измерений. На рис. 2а и 2б приведены спектры, измеренные таким образом через 30 мин после облучения образцов дозой 150 кГр.

Наблюдаемые на спектрах наведенной активно-

сти образцов два пика с энергиями $E_\gamma \approx 146$ и 244 кэВ можно объяснить активацией изотопа ^{112}Cd , содержание которого в природном Cd составляет 24,13%, по реакции $^{112}\text{Cd}(\gamma, n)^{111\text{m}}\text{Cd}$. В пользу этого предположения свидетельствует энергия излучаемых фотонов, а также отношение интенсивности фотопиков и постоянная времени распада (48 мин).

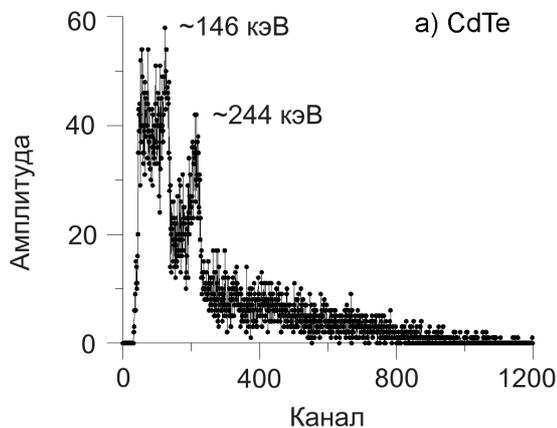


Рис. 2а. Спектры наведенной активности облученного образца CdTe, время измерений составило 174 с, число счетов – 9417

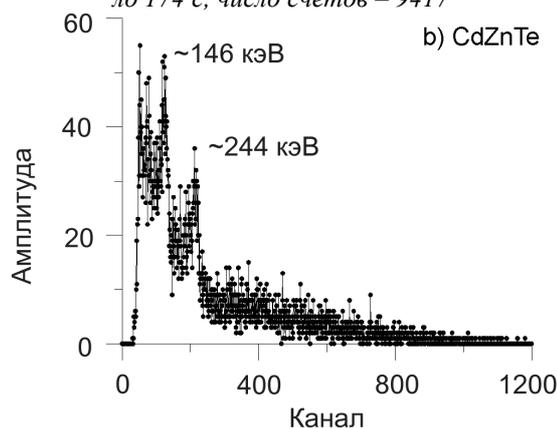


Рис. 2б. Спектры наведенной активности облученного образца CdZnTe, время измерений 126 с, число счетов 8083

Для исследования радиационной стойкости детекторов была измерена по методике, описанной в [9], зависимость их счетной характеристики от величины поглощенной дозы, т.е. чувствительность по отношению к стандартному источнику излучения ^{137}Cs . На рис. 3а и 3б приведены зависимости счетных характеристик образцов от величины полученной ими дозы D (по оси ординат отложено отношение скорости счета $N(D)$ к скорости счета N_0 для необлученного детектора).

Анализ дозовых зависимостей счетных характеристик кристаллов показывает, что CdZnTe сохраняет приемлемую чувствительность до значения поглощенной дозы ≈ 800 кГр ($8 \cdot 10^7$ рад), в то время как радиационная деградация образцов из CdTe происходит при существенно меньших дозах ≈ 200 кГр ($2 \cdot 10^7$ рад). Однако, это значение радиационной стойкости CdTe на 2 порядка выше величины, полученной авторами работы [10].

Как и ожидалось, предельные допустимые дозы

для дозиметрических детекторов оказываются значительно выше, чем для спектрометрических [7]. Как и в [7], деградация CdTe начинается с меньших доз, чем CdZnTe. Однако полученные нами предельные значения доз для CdTe и CdZnTe значительно отличаются (соответственно 150 и 500 кГр), в то время, как в [7] они почти совпадали (30 кГр).

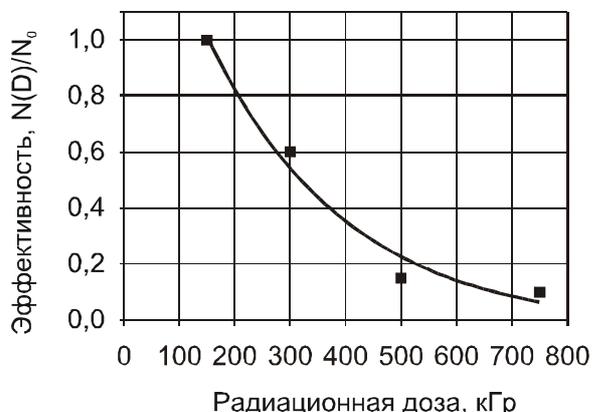


Рис.3а. Дозовая зависимость счетной характеристики детектора CdTe

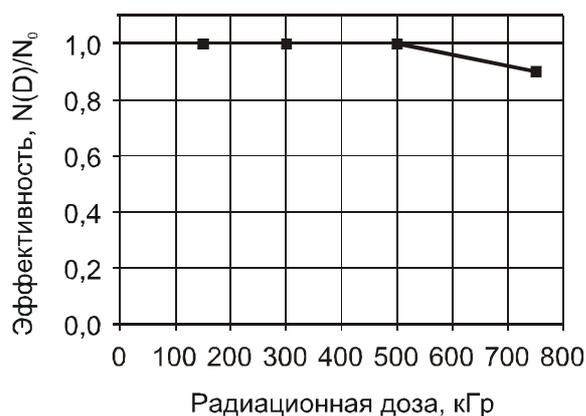


Рис.3б. Дозовая зависимость счетной характеристики детектора CdZnTe

Полученные в результате проведенных радиационных испытаний данные, в частности, показывают что полупроводниковые детекторы-дозиметры на основе CdZnTe могут успешно применяться в условиях значений мощности экспозиционной дозы до 20 Зв/ч с ожидаемым ресурсом эксплуатации не менее 10 лет.

Следует особо подчеркнуть, что реальный ресурс эксплуатации детекторов может оказаться выше прогнозируемого, так как в условиях имитации ра-

диационных повреждений, имевших место при испытаниях, не успевают проявляться механизмы отжига дефектов, которые возможны в условиях умеренных, но более длительных радиационных нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Symposium on Growth, Characterisation and Applications of Bulk II-VI Semiconductors, Strasbourg, France, June 16-18, 1998, "Growth, Characterisation and Applications of Bulk II-VI Semiconductors", 1999, v. 78, Triboulet R, Ed. Amsterdam: Elsevier Science Publ. (Series: European Materials Research Society Symposia-Proceedings, v. 78).
2. 7-th International Conference on Solid State Detectors, Nara, Japan Dec. 4-6, 1998// *Nuclear Instruments & Methods A*, 1999, v. 436, no. 1-2.
3. The 11-th International Workshop on Room Temperature Semiconductor X- and Gamma-Ray Detectors and Associated Electronics, Vienna, Austria, October 11-15, 1999.
4. L.A. Franks, B.A. Brunett, R.W. Olsen et al.// *Nucl. Instr. And Meth. A*, 1999, v. 428, p.95.
5. K. Hitomi, T. Shoji, T. Suehiro and Y. Hiratate. Radiation Damage effects by 25 Mev protons and thermal annealing effects on thallium bromide nuclear radiation detectors // *IEEE Trans. Nucl.Sci.*, 1999. v.NS-46, p.213-217.
6. P. Chirco, M. Zanarini, E. Querzola, G. Zambelli, W. Dusi, E. Caroli, A. Cavallini, B. Fraboni, P. Siffert and M. Hage Ali // *Mat Res. Soc. Symp. Proc.Series*, 1998, v. 487, p.293,
7. A. Cavallini, B. Fraboni, P. Chirco, M.P. Morigi, M. Zanarini, N. Auricchio, E. Caroli, E. Querzola, G. Zambelli, W. Dusi, P. Fougères, M. Hage Ali and P. Siffert. Electronic properties of traps induced by γ -irradiation in CdTe and CdZnTe detectors. (see, [3])
8. N.I. Ayzatsky et al. KUT – Industrial Technological Accelerator // *Труды XIV Совецания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, октябрь 1994*, Т. 4, с. 259-263.
9. В.Е. Кутний, А.Н. Довбня, С.П. Карасев и др. Исследование спектрометрических характеристик монокристаллов CdTe // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-физические исследования*, 1997, вып. 4,5 (31,32), с.90-91.
10. T. Shoji, T. Taguchi, Y. Hiratate, Y. Inuishi // *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 1979, v. NS-26 (1), p. 316.