

УДК 621.315.592.3

## ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ НА СВОЙСТВА ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ CdTe И CdZnTe

А. И. Кондрик

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»  
Украина, г. Харьков  
kondrik@kipt.kharkov.ua

*Выполнена идентификация уровней в исходных CdTe:Cl и CdZnTe по энергии в запрещенной зоне, сечению захвата и типу дефектов. Методом компьютерного моделирования установлена корреляция между радиационными дефектами, возникшими после жесткого рентгеновского облучения этих материалов, и эффективностью сбора зарядов детектора на их основе. Определена роль радиационных дефектов в процессах деградации детекторных характеристик CdTe:Cl и Cd<sub>0,9</sub>Zn<sub>0,1</sub>Te.*

*Ключевые слова: детекторы, радиационные дефекты, моделирование, CdTe, CdZnTe.*

Детекторы  $\gamma$ - и рентгеновского излучения на основе CdTe и CdZnTe часто работают в агрессивной радиационной среде. Возникающие электрически активные радиационные дефекты оказывают заметное влияние на условия компенсации, определяющие удельное сопротивление  $\rho$ , и на процессы захвата носителей заряда глубокими уровнями, влияющие на среднее время дрейфа свободных носителей заряда. Под воздействием ионизирующего облучения ухудшается энергетическое разрешение, и сдвигаются положения пиков на спектрах, увеличивается ток утечки и деградирует эффективность сбора зарядов  $\eta$ . Для контроля характеристик детекторов необходимо получить точные количественные данные о глубоких уровнях в CdTe. Из-за высокого  $\rho$  материала правильная идентификация глубоких уровней и определение их концентрации наталкивается на большие трудности.

Вопрос о составе дефектов и соответствующих глубоких и мелких уровнях в CdTe и CdZnTe рассматривался в ряде работ [1—5]. Трудности возникали не только в определении концентрации дефектов, но и в идентификации зарегистрированных уровней, причем иногда был неясен даже тип уровня: акцепторный или донорный. Один и тот же уровень может по-разному влиять на процессы захвата свободных носителей заряда в зависимости от степени его заполнения, которая определяется положением уровня Ферми  $F$ . В свою очередь, уровень Ферми зависит от температуры, соотношения между концентрациями фоновых и радиационных дефектов и степени легирования, а в CdZnTe еще и от мольной доли цинка. Остается открытым вопрос о конкретных причинах деградации детекторных свойств CdTe:Cl под влиянием ионизирующего излучения. В связи с этим возникает необходимость исследования зависимости электрофизических и детекторных свойств CdTe и CdZnTe от параметров уровней в исходных материалах, а также материалах, подвергшихся радиационному облучению.

Целью настоящей работы было определение взаимосвязи между параметрами уровней дефектов в исходных и облученных материалах CdTe:Cl, Cd<sub>0,9</sub>Zn<sub>0,1</sub>Te и характеристиками детекторов на их основе методом моделирования.

Сравнивая результаты ряда экспериментов, например, описанных в работах [1–4], была проведена работа по определению состава и характеристик уровней в детекторных материалах CdTe:Cl и Cd<sub>0,9</sub>Zn<sub>0,1</sub>Te, как в исходных, так и после рентгеновского облучения. Были установлены основные параметры: концентрация, энергия, сечение захвата и типы уровней в исходных CdTe:Cl и CdZnTe.

Для количественного моделирования электрофизических и детекторных свойств CdTe была использована модель и компьютерная программа, описанные в [5]. Установленные параметры глубоких уровней обеспечили полное соответствие вычисленных электрофизических свойств для исходных материалов с экспериментально измеренными величинами: удельное сопротивление  $\rho=2 \cdot 10^9$  Ом·см (CdTe) и  $\rho=1 \cdot 10^{11}$  Ом·см (Cd<sub>0,9</sub>Zn<sub>0,1</sub>Te); электронная подвижность  $\mu=1100$  см/(В·с); среднее время дрейфа свободных носителей заряда  $\tau \approx 1 \cdot 10^{-6}$  с.

Для исходного и облученного образцов CdTe:Cl было проведено моделирование  $\rho$ ,  $\eta$  и  $F$  в зависимости от концентрации легирующего хлора и радиационных дефектов  $J$  с энергией  $E=E_V+0,47$  эВ и  $Z$  с энергией  $E=E_V+0,53$  эВ, где  $E_V$  – уровень потолка валентной зоны. Количественный анализ показал, что радиационные дефекты с экспериментально измеренными величинами концентраций не приводят к заметной деградации спектроскопических свойств, наблюдаемой на практике. Для полной деградации свойств детектора на основе CdTe:Cl необходимо, чтобы суммарная концентрация радиационных дефектов  $J$  и  $Z$  была свыше  $3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ , что примерно на порядок больше измеренной величины. Деградация регистрирующих свойств детектора происходит по причине захвата свободных носителей заряда, дрейфующих в межэлектродном промежутке, радиационными дефектами, уровень энергии которых расположен выше валентной зоны примерно на 0,5 эВ. Уровень Ферми после облучения CdTe:Cl понижается до положения уровней дефектов  $J$  и  $Z$  в запрещенной зоне. Это характеризуется уменьшением удельного сопротивления до  $3 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ . Снижение  $\rho$  на три порядка приводит к дополнительному ухудшению спектроскопических свойств детектора на основе CdTe:Cl.

Моделирование  $\rho$ ,  $F$  для  $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}$ , а также  $\eta$  детектора на его основе показало, что для полной деградации детекторных свойств необходимо, чтобы суммарная концентрация радиационных дефектов  $A_0$  ( $E=E_V+0,06$  эВ),  $D$  ( $E=E_V+0,41$  эВ) и  $J$  ( $E=E_V+0,53$  эВ) после облучения превышала на два порядка величину, измеренную экспериментально. После рентгеновского облучения дозой 260 кГр уровень Ферми располагается вблизи середины запрещенной зоны ( $F=E_V+0,75$ ), поэтому материал остается высокоомным, а захват носителей заряда на его радиационных дефектах пренебрежимо мал.

Таким образом, установлено, что основную роль в деградации детекторных свойств CdTe:Cl при эксплуатации в условиях жесткого радиационного облучения играет уменьшение удельного сопротивления на три порядка и захват свободных носителей на радиационных уровнях  $J$  и  $Z$ , отстоящие от потолка валентной зоны соответственно на 0,47 и 0,53 эВ. Среднее время дрейфа свободных носителей заряда при захвате на этих уровнях уменьшается для электронов на два порядка, а для дырок – на три порядка.

Разность между суммарной концентрацией  $J$ ,  $Z$  и мелких акцепторов с одной стороны, и концентрацией мелких доноров с другой должна быть примерно на порядок больше по сравнению с измеренными величинами для облученного CdTe:Cl.

Для деградации регистрирующих свойств детектора на основе  $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}$  необходимо, чтобы суммарное содержание радиационных дефектов в матрице было не менее  $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ , поэтому данный материал является радиационностойким, что подтверждается экспериментально.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. B. Fraboni, L. Pasquini, A. Castaldini, A. Cavallini, P. Siffert. X-ray irradiation effects on the trapping properties of  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  detectors // Journal of Applied Physics. – 2009. – Vol. 106. – No. 9. – P. 093713.
2. B. Fraboni, A. Cavallini, N. Auricchio, M. Bianconi. Deep traps induced by 700 keV protons in CdTe and CdZnTe detectors // Nuclear Science Symposium Conference Record, IEEE. – Canada, San Diego. – October 29 – November 1, 2006. – P.3594-3597.
3. D. M. Hofmann, W. Stadler, P. Christmann, B. K. Meyer. Defects in CdTe and  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 1996. – Vol. 380. – Iss. 1–2. – P. 117–120.
4. A. Cavallini, B. Frabony, W. Dusi. Compensation processes in CdTe-based compounds // Nuclear Science, IEEE Transactions. – 2005. – Vol. 52. – Iss. 5. – P. 1964–1967.
5. Кондрик А. И. Моделирование свойств CdZnTe и параметров детекторов  $\gamma$ -излучения на его основе // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2004. – № 6. – С. 17–22.

A. I. Kondrik

#### Effect of radiation defects on properties of detector based on CdTe and CdZnTe.

The identification of levels in initial CdTe:Cl and CdZnTe has been performed according to the energy position in the band gap, capture cross section and types of defects. The correlation between radiation defects arising under the influence of the hard X-ray irradiation and charge collection efficiency of the detector has been determined by computer simulation method. The role of radiation-induced defects in the process of degradation of CdTe:Cl and  $\text{Cd}_{0,9}\text{Zn}_{0,1}\text{Te}$  detector characteristics has been ascertained.

Keywords: *detectors, radiation defects, modeling, CdTe, CdZnTe.*