

05;07;12

Фотовольтаические детекторы рентгеновского излучения на основе кристаллов CdTe с $p-n$ -переходом

© В.Ф. Дворянкин,¹ Г.Г. Дворянкина,¹ Ю.М. Иванов,² А.А. Кудряшов,¹ А.Г. Петров¹

¹ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
141190 Фрязино, Московская область, Россия
e-mail: vfd217@ire216.msk.su

² Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН,
117333 Москва, Россия

(Поступило в Редакцию 12 января 2010 г.)

Изготовлены детекторы рентгеновского излучения на основе CdTe с $p-n$ -переходами, полученными диффузией In в p -CdTe. Впервые исследованы основные характеристики детектора. Показана высокая чувствительность детектора к рентгеновскому излучению при малых напряжениях смещения (до -50 В) в диапазоне эффективных энергий рентгеновского излучения 28–72 keV. Продемонстрировано преимущество фотовольтаических детекторов на основе CdTe с $p-n$ -переходами перед рентгеновскими детекторами на основе $Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te$.

В структурах со встроенными потенциальными барьерами, такими как барьеры Шоттки, гетеропереходы и $p-n$ -переходы, когда избыточные носители тока создаются в обедненной области, фотоэффект является по существу фотовольтаическим. Этот эффект широко используется для создания многих полупроводниковых электронных приборов, таких как лазеры, транзисторы, детекторы различных излучений и др. Нами были разработаны и изготовлены фотовольтаические детекторы рентгеновского излучения на основе эпитаксиальных структур $p^+-n-n^+-n^+GaAs$ [1]. $p-n$ -переход в CdTe использовался для создания солнечных батарей [2]. В работах [3,4] показана возможность использования поверхностно-барьерных $p-n$ -переходов в CdTe n -типа проводимости для счетчиков α - [3] и γ -квантов [4]. В работе [5] опубликованы наши первые результаты по изготовлению и исследованию детекторов рентгеновского излучения на основе кристаллов CdTe с $p-n$ -переходами, полученными при помощи диффузии индия в CdTe с p -типом проводимости. Таким образом, представляло интерес более детальное исследование такого типа детекторов, что и сделано нами в настоящей работе.

Детекторы изготавливались из монокристаллов CdTe, выращенных методом Обреимова–Шубникова [6]. Для получения полупроводящих кристаллов p -типа проводимости их легировали небольшим количеством хлора путем добавления в расплав соединения $CdCl_2$ [7]. Были получены кристаллы CdTe с удельным сопротивлением порядка $10^9 \Omega \cdot \text{см}$. Для создания $p-n$ -перехода в выращенные кристаллы CdTe p -типа проводилась диффузия In. Для этого полированные кристаллы прямоугольной формы с небольшой навеской металлического индия отжигали в вакуированной кварцевой ампуле при температуре порядка 300°C в течение нескольких часов. После диффузии пять плоскостей кристалла сошлифовывались на глубину проникновения паров индия и

полировались. В качестве электрических контактов на нешлифованную поверхность наносили путем наплавления индия, а на противоположную наносили золото из водного раствора $AuCl_3$. Исследованные нами детекторы имели толщину 1.4–1.6 мм.

На рис. 1 приведена типичная для наших образцов вольт-амперная характеристика (ВАХ), снятая в тем-

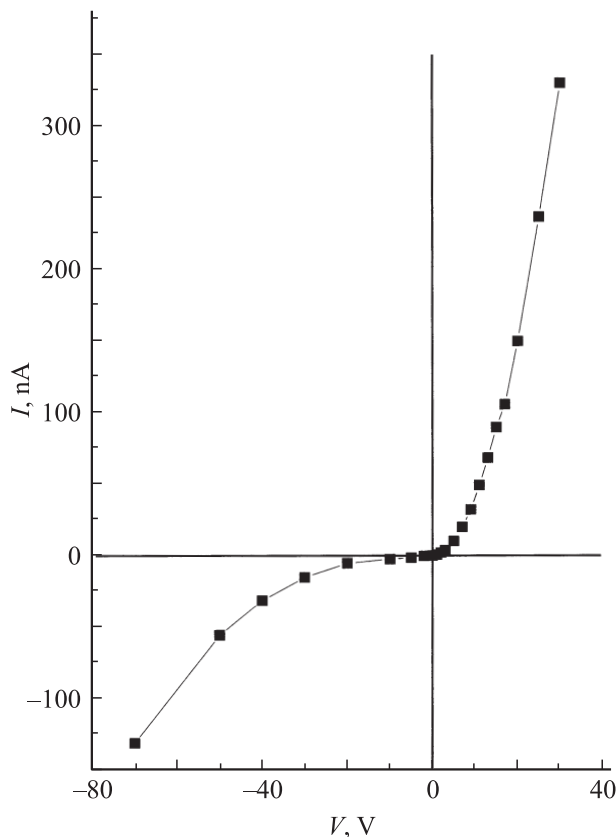


Рис. 1. Типичная ВАХ детектора на основе CdTe с $p-n$ -переходом.

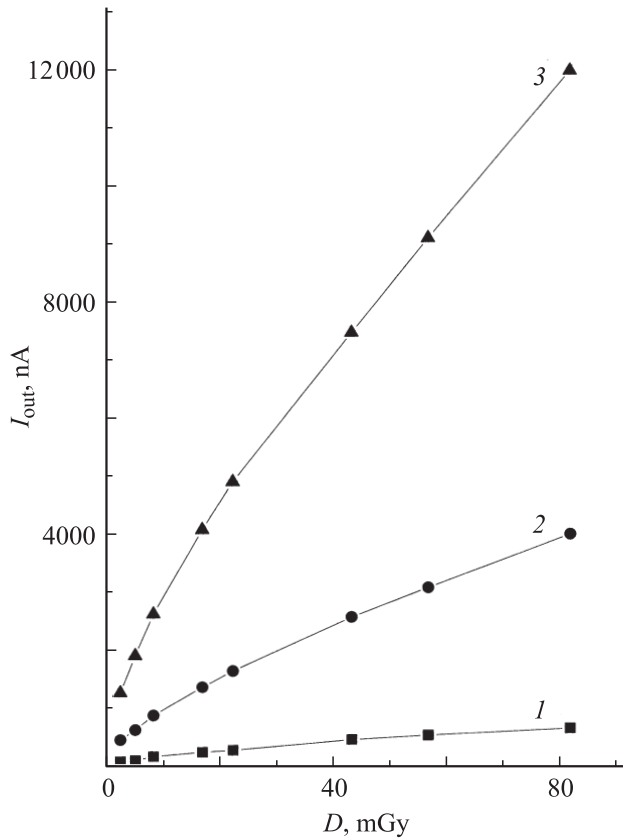


Рис. 2. Зависимость сигнала детектора от мощности дозы рентгеновского излучения при эффективной энергии $E_{\text{eff}} = 50 \text{ keV}$ для трех напряжений смещения: 1 — -15 V , 2 — -30 V , 3 — -50 V .

ноте, характерная для диодных структур. Одним из главных свойств $p-n$ -перехода является существование обедненной области. О наличии ее в детекторах свидетельствовало наличие сигнала при засветке детектора рентгеновским излучением без напряжения смещения. Для создания в обедненной области фотовольтаического детектора более высокого электрического поля прикладывалось к детекторам небольшое напряжение обратного смещения (до 50 V). Электрическое поле в обедненной области должно быть достаточным для разделения электрон-дырочных пар и быстрого удаления неравновесных носителей из обедненной области для снижения возможности рекомбинации.

На рис. 2 приведены зависимости сигнала от мощности дозы рентгеновского излучения при трех напряжениях обратного смещения и эффективной энергии излучения 50 keV . Рентгеновский пучок направлялся на индиевый контакт образца. Из рисунка видно, что сигнал изменяется почти линейно с увеличением мощности дозы рентгеновского излучения и возрастает с увеличением напряжения обратного смещения.

Основное внимание уделялось нами исследованию чувствительности детекторов к рентгеновскому излучению в зависимости от эффективной энергии излучения

и напряжения обратного смещения. Чувствительность S вычислялась по формуле

$$S = \frac{I_{\text{ph}}}{DA},$$

где I_{ph} — измеренный фототок в μA ; D — доза падающего рентгеновского излучения в Gy/cm^2 ; A — площадь детектора в cm^2 .

На рис. 3 приведена зависимость чувствительности детектора на основе CdTe с $p-n$ -переходом от эффективной энергии излучения при напряжениях обратного смещения $15\text{--}50 \text{ V}$. Из рисунка видно, что детекторы на основе CdTe с $p-n$ -переходом имеют высокую чувствительность к рентгеновскому излучению при малых напряжениях обратного смещения (до 50 V) и эффективных энергиях излучения до 72 keV .

Авторы провели сравнение фотовольтаических детекторов с детекторами типа металл-полупроводник-металл на основе $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$. На рис. 4 приведены зависимости чувствительности к рентгеновскому излучению от напряжения смещения для трех эффективных энергий рентгеновского излучения и двух направлений рентгеновского пучка для детектора на основе $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$. Черные квадраты соответствуют направлению пучка параллельно приложенному электрическому полю, а

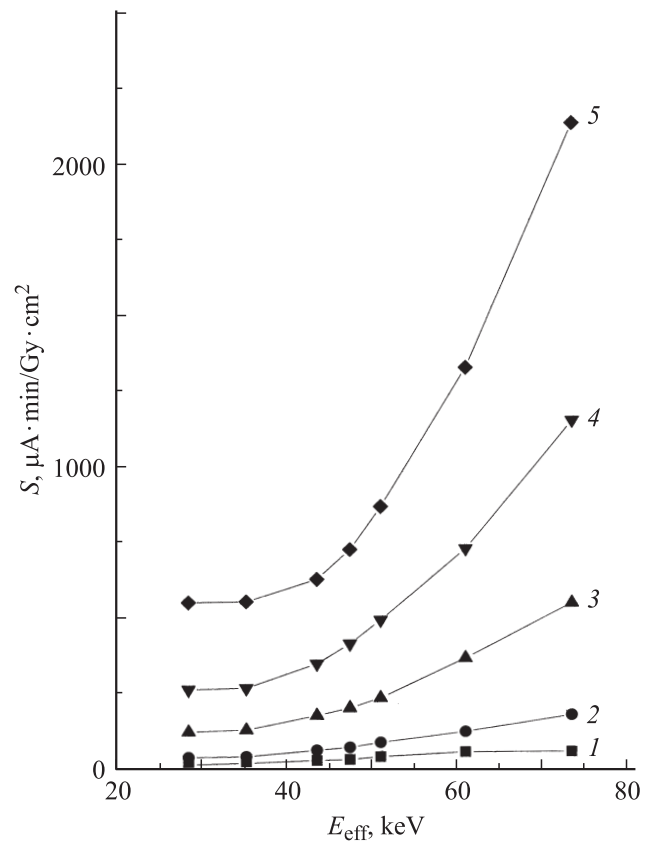


Рис. 3. Зависимость чувствительности детектора на основе CdTe с $p-n$ -переходом от эффективной энергии рентгеновского излучения для напряжений смещения 1 — -15 V , 2 — -20 V , 3 — -30 V , 4 — -40 V , 5 — -50 V .

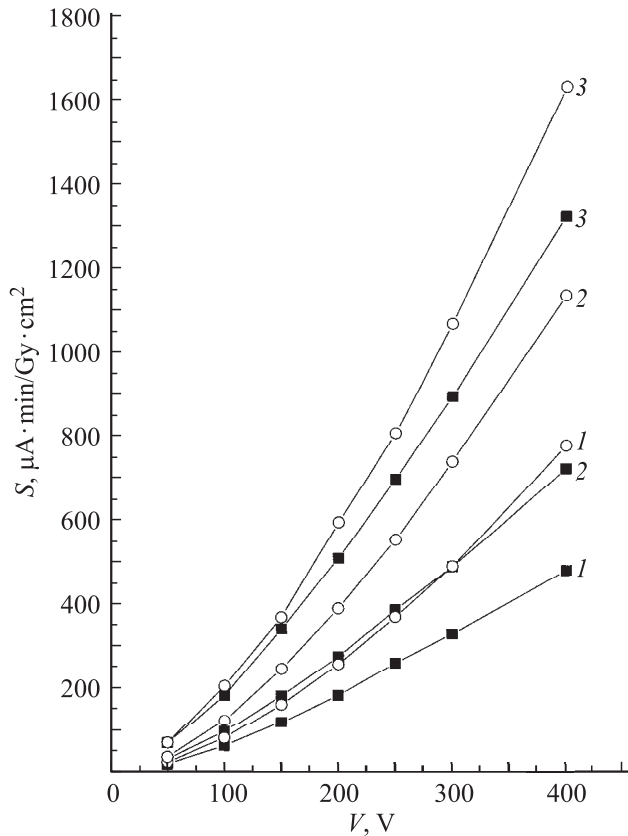


Рис. 4. Зависимость чувствительности детектора на основе $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ от напряжения смещения для трех эффективных энергий рентгеновского излучения: 1 — 35, 2 — 51, 3 — 72 keV.

белые кружки — направлению рентгеновского пучка перпендикулярно приложенному электрическому полю. Из сравнения рис. 3 и 4 видно, что для получения одинаковой чувствительности при равных эффективных энергиях детектор на основе CdTe с p - n -переходом требует гораздо меньшего напряжения смещения, чем детектор на основе $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$. Этот результат объясняется наличием в CdTe с p - n -переходом обедненной области с высоким сопротивлением и встроенным электрическим полем. При приложении напряжения обратного смещения обедненная область расширяется, электрическое поле увеличивается, что способствует быстрому разделению электрон-дырочных пар, генерируемых рентгеновским излучением. Сильное электрическое поле уменьшает вероятность рекомбинации носителей тока. При этом может происходить сбор не только электронов, но и дырок, что приводит к возрастанию сигнала.

Таким образом, наличие в кристалле CdTe с p - n -переходом обедненной области и встроенного электрического поля значительно повышает чувствительность детектора к рентгеновскому излучению даже при небольших (до -50 V) напряжениях смещения.

Полученные нами результаты позволяют надеяться, что детекторы на основе CdTe с p - n -переходом найдут широкое применение в таких областях, как медицина (маммография), биология, досмотровые системы и др. Немаловажным преимуществом этих детекторов является то, что для них не требуется дорогостоящая электроника.

Список литературы

- [1] Дворянкин В.Ф., Дворянкина Г.Г., Дикаев Ю.М. и др. // ЖТФ. 2007. Т. 77. Вып. 10. С. 121–124.
- [2] Gusano D.A. // Solid State Electron. 1963. Vol. 6. P. 217.
- [3] Аркадьева Е.Н., Маслова Л.В., Матвеев О.А. и др. // ФТП. 1967. Т. 1. Вып. 5. С. 805.
- [4] Аркадьева Е.Н., Маслова Л.В., Матвеев О.А. и др. // ФТП. 1968. Т. 2. Вып. 2. С. 279.
- [5] Ivanov Yu.M., Kanevsky V.M., Dvoryankin V.F. et al. // Phys. Stat. Sol. (C)O. 2003. N 3. P. 840–844.
- [6] Козлова О.Г. Рост кристаллов. М.: МГУ, 1967. 238 с.
- [7] Ivanov Yu.M., Artemov V.V., Kanevsky V.M. et al. // Eur. Phys. J. Appl. Phys. 2004. Vol. 27. P. 371–374.