

05.07.12

Исследование чувствительности детекторов на основе $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ к рентгеновскому излучению

© В.Ф. Дворянкин,¹ Г.Г. Дворянкина,¹ А.А. Кудряшов,¹ А.Г. Петров,¹
В.Д. Голышев,² С.В. Быкова²

¹ Институт радиотехники и электроники РАН,
141190 Фрязино, Московская обл., Россия
e-mail: vfd217@ire216.msk.su

² ООО Гранит-А,
601655 Александров, Россия

(Поступило в Редакцию 13 мая 2009 г.)

Исследована зависимость чувствительности детекторов на основе $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ к рентгеновскому излучению от эффективной энергии излучения и напряжения смещения. Показано, что чувствительность увеличивается с ростом эффективной энергии рентгеновских фотонов и особенно быстро — с увеличением напряжения смещения. Обнаружена зависимость чувствительности от направления рентгеновского пучка относительно электрического поля в детекторе. Показано, что в диапазоне 28–72 keV чувствительность больше, когда рентгеновский пучок направлен перпендикулярно электрическому полю в детекторе.

В настоящее время кристаллы $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ широко используются для изготовления детекторов рентгеновского и гамма-излучения. На основе таких детекторов новые приборы и установки для проведения спектроскопии при комнатной температуре, медицины, неразрушающего контроля и т.п. В связи с этим представляет интерес исследование зависимости чувствительности детекторов на основе $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ к рентгеновскому излучению от напряжения смещения, эффективной энергии рентгеновских фотонов и направления рентгеновского пучка относительно электрического поля в детекторе.

В настоящей работе монокристаллы $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ были выращены методом осевого теплового потока вблизи фронта кристаллизации (ОТФ) [1]. Рост кристаллов происходил при давлении инертного газа 100 atm путем самозатравливания в тигле из графита диаметров 50 mm. Детекторы, изготовленные из этих кристаллов, представляли собой кубики размером $3 \times 3 \times 3$ mm. Золотые контакты, на которые подавалось электрическое напряжение, наносились на поверхности образцов из 5%-ного водного раствора золотохлористоводородной кислоты (HAuCl_4).

На рис. 1 приведена типичная вольт-амперная характеристика (ВАХ) детектора, полученная в темноте в отсутствие рентгеновского излучения. Видно, что контакты являются омическими.

Чувствительность детектора к рентгеновскому излучению S вычислялась по формуле

$$S = \frac{I_{\text{ph}}}{DA}, \quad (1)$$

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

и напряжения смещения была исследована нами с использованием двух направлений рентгеновского пучка относительно электрического поля в детекторе: параллельно и перпендикулярно электрическому полю.

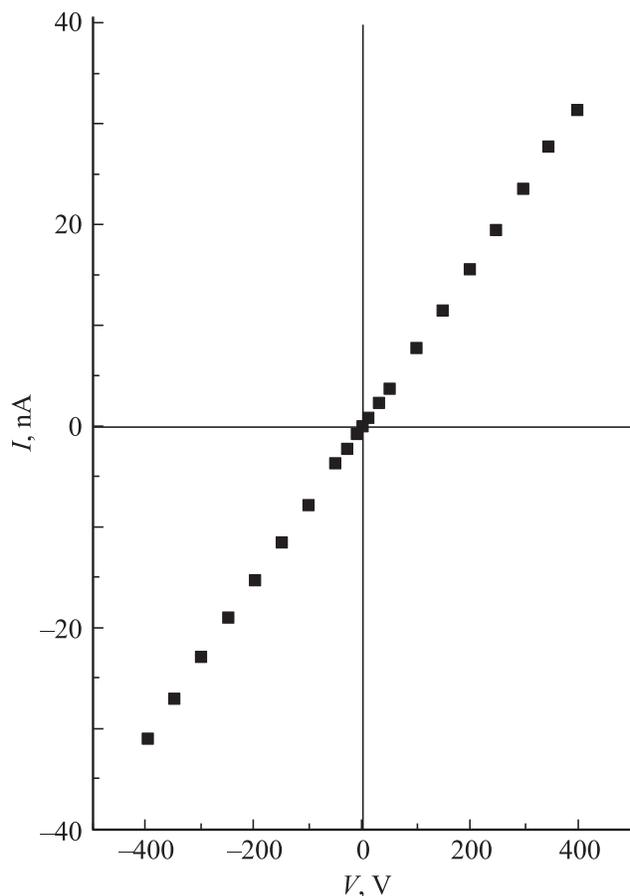


Рис. 1. Типичная ВАХ детектора на основе $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$.

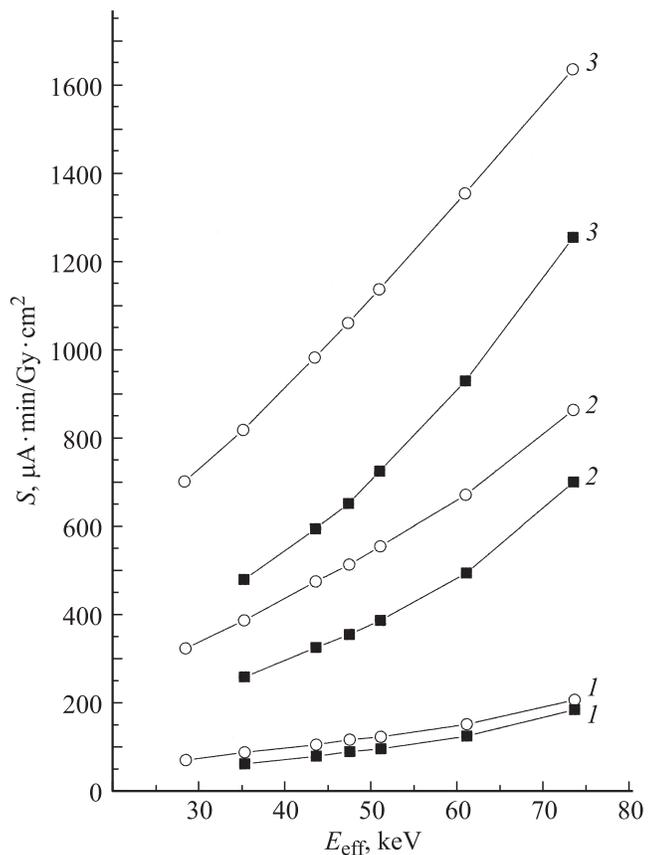


Рис. 2. Зависимость чувствительности детектора на основе $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ от эффективной энергии рентгеновского излучения для трех напряжений смещения: 1 — 100, 2 — 250, 3 — 400 В.

На рис. 2 представлена зависимость чувствительности детектора от эффективной энергии рентгеновского излучения в диапазоне 28–72 keV для трех напряжений смещения, обозначенных цифрами. Черные квадраты на всех рисунках соответствуют случаю, когда направление электрического поля совпадает с направлением рентгеновского пучка, а белые кружки представляют случай, когда электрическое поле перпендикулярно рентгеновскому пучку. Из рис. 2 можно видеть, что чувствительность возрастает с увеличением эффективной энергии, причем гораздо быстрее при больших напряжениях смещения. При всех значениях эффективной энергии в диапазоне 28–72 keV чувствительность выше, когда рентгеновский пучок перпендикулярен электрическому полю в детекторе, однако разница в значениях чувствительности для двух направлений пучка мало зависит от эффективной энергии при постоянном напряжении смещения. Кривые, обозначенные белыми кружками и черными квадратами, почти параллельны.

На рис. 3 представлена зависимость чувствительности от напряжения смещения в диапазоне 50–400 В для трех значений эффективной энергии рентгеновского излучения, обозначенных цифрами. Из рисунка видно,

что чувствительность резко возрастает с увеличением напряжения смещения, причем резче при направлении рентгеновского пучка перпендикулярно электрическому полю в детекторе.

На рис. 4 показано, что при больших значениях напряжения смещения (выше 1000 В и эффективной энергии 61 keV) чувствительность детектора при направлении рентгеновского пучка перпендикулярно электрическому полю в 1.5–2 раза выше, чем при направлении пучка фотонов параллельно электрическому полю в детекторе.

Полученные нами зависимости чувствительности детекторов на основе $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ к рентгеновскому излучению связаны с квантовой эффективностью внутреннего фотоэффекта, которая определяется числом электронно-дырочных пар, образующихся в детекторе при поглощении одного рентгеновского фотона. Число возникающих электронно-дырочных пар зависит как от энергии поглощенного фотона, так и от материала детектора. В нашем случае эффективность поглощения рентгеновских фотонов определяется высокими атомными номерами Cd ($Z = 48$) и Te ($Z = 52$). Значение средней энергии для генерации одной электронно-дырочной пары в кристалле $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ ширина запрещенной зоны в

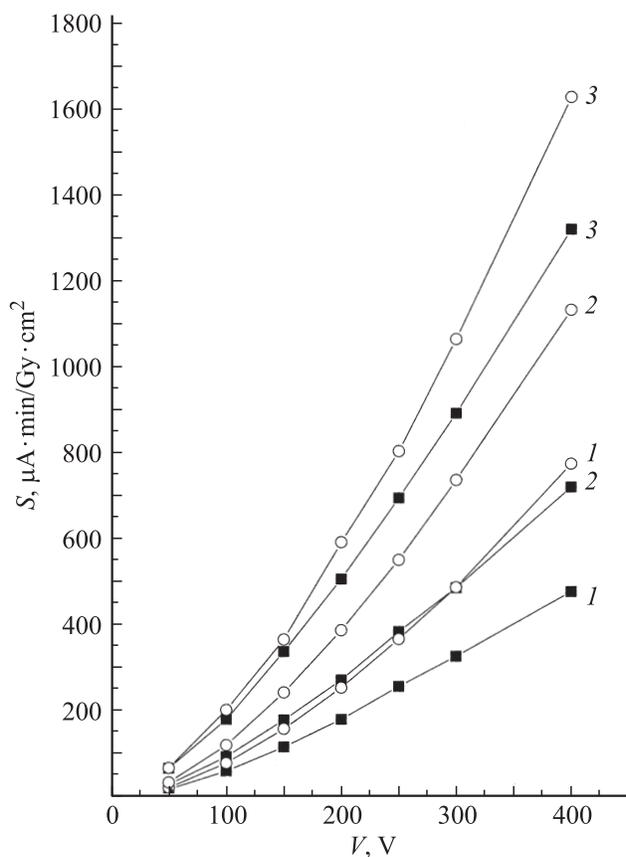


Рис. 3. Зависимость чувствительности детектора на основе $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ от напряжения смещения для трех эффективных энергий рентгеновского излучения: 1 — 35, 2 — 51, 3 — 72 keV.

котором 1.6 eV, равна 5.14 eV [2]. Найдено [3], что при значениях энергии до приблизительно 250 keV поглощение рентгеновских фотонов приводит к возникновению фотоэлектрического эффекта. В этом случае часть энергии рентгеновского фотона передается связанным атомным электронам, покидающим атомы, а оставшаяся часть энергии превращается в кинетическую энергию этих электронов E_k , которая может быть представлена в виде

$$E_k^- = h\nu - (E_b)_i, \quad (2)$$

где $h\nu$ — энергия рентгеновского фотона, $(E_b)_i$ — энергия связи электрона на i -й оболочке атома, равная энергии, требуемой для удаления электрона с i -й оболочки. В таблице приведены энергии связи электронов $(E_b)_i$ в свободных атомах Zn, Cd и Te, находящихся на оболочках K , L и M [4]. Из соотношения (2) видно, что чем выше энергия рентгеновских фотонов, тем выше кинетическая энергия электронов, выбитых из атомов. При движении этих фотоэлектронов в детекторе генерируются вторичные электроны, создающие электронно-дырочные пары. Электрическое поле, создаваемое в детекторе напряжением смещения, будет повышать кинетическую энергию фотоэлектронов и тем самым увеличивать чувствительность детектора. Согласно [5], фотоэлектро-

ны вылетают из атомов перпендикулярно направлению рентгеновского излучения. Отсюда следует, что фототок, а вместе с ним и чувствительность детектора должны быть больше при направлении рентгеновского пучка перпендикулярно электрическому полю, создаваемому напряжением смещения. Это и наблюдается на рис. 2–4.

Таким образом, проведенное нами исследование чувствительности детекторов на основе $Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te$ к рентгеновскому излучению показало, что чувствительность возрастает с увеличением эффективной энергии излучения и напряжения смещения в детекторе. Обнаружен эффект зависимости чувствительности от направления рентгеновского излучения относительно электрического поля в детекторе. Показано, что в используемом нами диапазоне эффективных энергий 27–72 keV чувствительность больше при направлении рентгеновского излучения перпендикулярно электрическому полю, создаваемому напряжением смещения, причем разница в значениях чувствительности для двух направлений излучения сильнее зависит от напряжения смещения, чем от эффективной энергии рентгеновских фотонов.

Список литературы

- [1] Marchenko M., Golyshev V., Bykova S. // J. Cryst. Growth. 2007. Vol. 303. P. 193–198.
- [2] Вавилов В.С., Кекелидзе К.П., Смирнов М.С. Действие излучений на полупроводники. М.: Наука, 1988. 191 с.
- [3] Tümer T.O., Joyce D.C., Yin S. et al. // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1996. Vol. 43. P. 1417–1421.
- [4] Карлсон Т.А. Фотоэлектронная и Оже-спектроскопия. Л.: Машиностроение, 1981. 431 с.
- [5] Шифф Л. Квантовая механика. М.: ИЛ, 1949. 473 с.

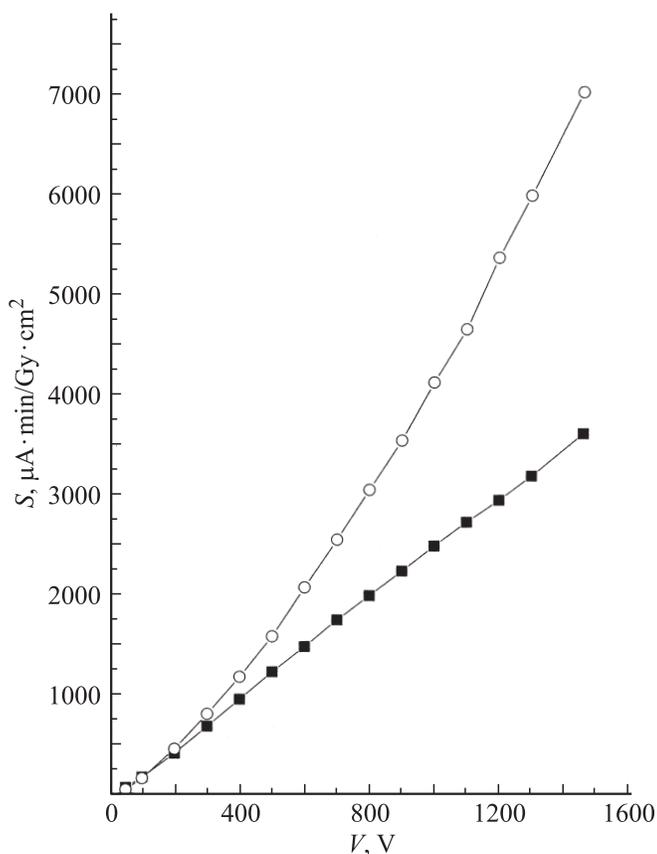


Рис. 4. Зависимость чувствительности детектора от напряжения смещения при эффективной энергии рентгеновского излучения $E_{\text{eff}} = 61$ keV.