

05;07;12

Зависимость качества рентгеновских детекторов $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ от чистоты исходных компонентов

© В.Ф. Дворянкин,¹ Г.Г. Дворянкина,¹ Ю.М. Иванов,² А.А. Кудряшов,¹ А.Г. Петров,¹ А.А. Телегин¹

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

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

(Поступило в Редакцию 10 сентября 2010 г.)

Исследованы детекторы рентгеновского излучения, изготовленные на основе монокристаллов $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ с использованием в качестве исходных компонентов Cd, Zn и Te после многостадийной вакуумной дистилляции и доочистки синтезированного CdZnTe методом непрерывной вакуумной сублимации. Получены детекторы с высокой чувствительностью к рентгеновскому излучению.

CdZnTe является одним из наиболее перспективных материалов для изготовления детекторов рентгеновского излучения, используемых для различных целей. На качество рентгеновских детекторов влияет как технология их изготовления, так и технология выращивания монокристаллов CdZnTe. К технологии выращивания относятся метод и условия роста, легирование различными примесями, а также чистота исходных компонентов Cd, Zn и Te. Основным требованием к рентгеновским детекторам является их высокая чувствительность к рентгеновскому излучению при комнатной температуре. В настоящей работе исследовалось влияние чистоты исходных компонентов Cd, Zn и Te, используемых для выращивания монокристаллов $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$, на качество изготовленных из этих монокристаллов детекторов рентгеновского излучения.

Детекторы изготавливались из монокристаллов $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$, выращенных методом Обреимова–Шубникова [1]. Для глубокой очистки исходных Te марки Т-ВЧ и Zn марки ЧДА применяли многостадийную вакуумную дистилляцию [2]. Для изготовления детекторов были взяты монокристаллы с различной чистотой исходного Cd. После синтеза все поликристаллы CdZnTe доочищались непрерывной вакуумной сублимацией [2]. Выращивание монокристаллов и их охлаждение проводилось в одинаковых условиях. Все кристаллы в процессе выращивания легировались индием до концентрации порядка 10^{17} cm^{-3} . Были получены кристаллы с проводимостью n -типа и сопротивлением порядка $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$. Для изготовления детекторов электрические контакты наносились путем осаждения Au из водного раствора AuCl_3 на поверхность скола CdZnTe.

Для сравнения детекторных свойств были использованы образцы детекторов, изготовленные из трех монокристаллов $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$, выращенных из кадмия очищенного различными методами. На рис. 1–3 приведены зависимости чувствительности к рентгеновскому излучению детекторов, изготовленных из монокристаллов с различной чистотой исходного Cd, от эффективной

энергии при трех напряжениях смещения. На рис. 1 изображена чувствительность образца № 142, в котором использовался гранулированный Cd, очищенный на заводе чистых металлов. На рис. 2 представлена чувствительность образца № 143, в котором использовался более чистый зонно-очищенный Cd завода чистых металлов. И наконец, на рис. 3, показана чувствительность к рентгеновскому излучению образца № 148, в котором

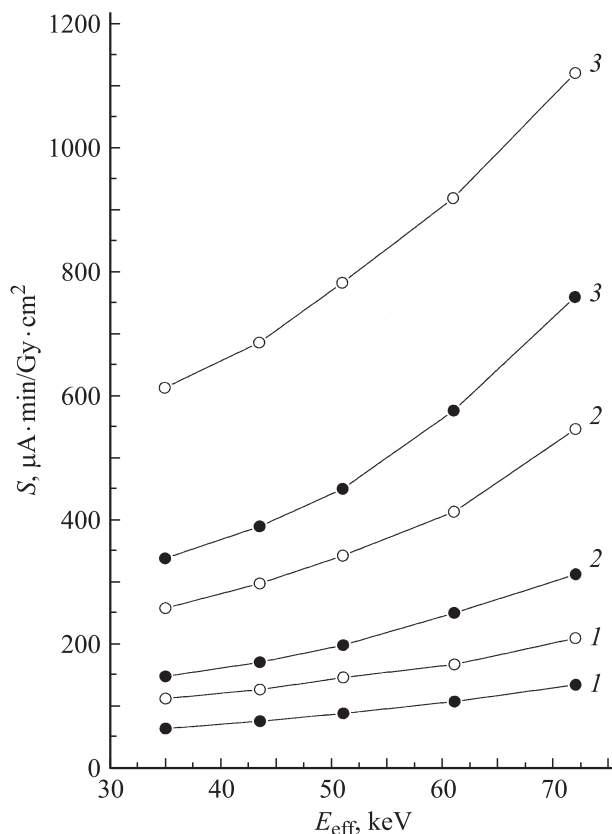


Рис. 1. Зависимость чувствительности детектора № 142 от эффективной энергии рентгеновского излучения для трех напряжений смещения: 1 — 50; 2 — 100; 3 — 200 В.

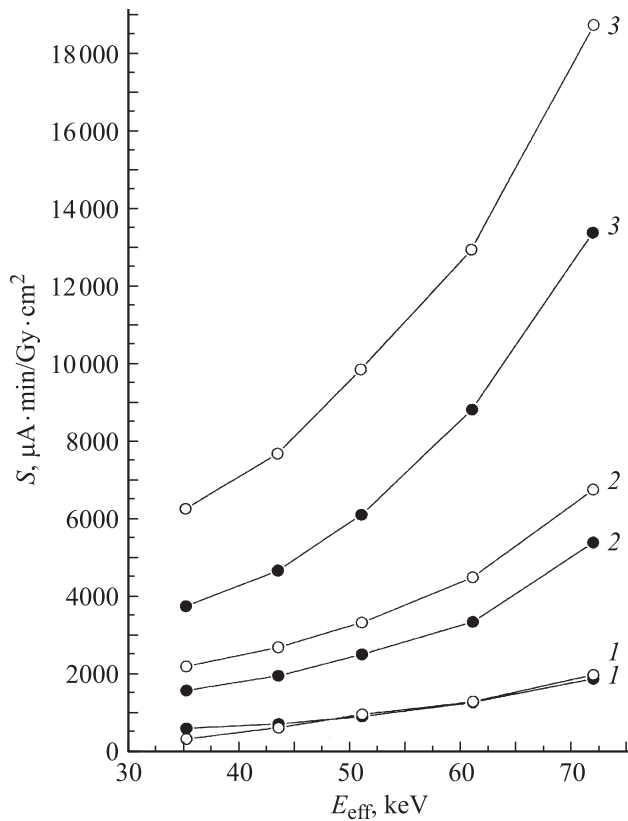


Рис. 2. Зависимость чувствительности детектора № 143 от эффективной энергии рентгеновского излучения для трех напряжений смещения: 1 — 50; 2 — 100; 3 — 200 В.

исходный Cd марки ЧДА подвергался глубокой очистке многостадийной вакуумной дистилляцией при непрерывной откачке криогенным насосом до чистоты 6N–7N.

Поскольку исследуемые нами образцы имели различную толщину (от 1.9 до 2.7 mm), для того чтобы исключить этот параметр при сравнении чувствительности для разных детекторов, рентгеновский пучок направлялся не только на электрический контакт, т. е. параллельно приложенному электрическому полю (черные кружочки на рисунках), но и перпендикулярно ему (белые кружочки).

Из рисунков можно видеть, как возрастает чувствительность детекторов к рентгеновскому излучению с чистотой исходного Cd в монокристаллах $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$. Наиболее наглядно это представлено на рис. 4, где изображена зависимость чувствительности детекторов от напряжения смещения при $E_{\text{eff}} = 60 \text{ keV}$, полученная при направлении рентгеновского пучка перпендикулярно приложенному электрическому полю. Из рисунка видно, что глубокая очистка всех исходных компонентов (Cd, Zn Te) дает возможность изготовить детектор, обладающий очень высокой чувствительностью к рентгеновскому излучению (образец № 148).

Полученные нами результаты можно объяснить улучшением транспортных свойств монокристаллов $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$, из которых изготавливались детекторы, с повышением чистоты исходных компонентов (в частности, Cd).

Экспериментальная чувствительность детекторов к рентгеновскому излучению S вычислялась нами по формуле

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

где I_{ph} — измеренный фототок, D — мощность дозы падающего рентгеновского излучения, A — площадь детектора.

В работе [3] была выведена зависимость чувствительности рентгеновского детектора от произведения дрейфовой подвижности на время жизни электронов и дырок, которое характеризует транспортные свойства материала детектора,

$$S = \frac{I_0[1 - \exp(-\mu d)]eV(\mu_e^{dr}\tau_e + \mu_h^{dr}\tau_h)}{\varepsilon d^2}, \quad (2)$$

где S — чувствительность, I_0 — интенсивность падающего рентгеновского пучка, соответствующая единице мощности дозы с эффективной энергией E_{eff} , μ — линейный коэффициент поглощения рентгеновского излучения веществом детектора, d — толщина детектора, e — заряд электрона, V — напряжение смещения, ε — работа образования электронно-дырочной пары, $\mu_h^{dr}\tau_h$ и $\mu_e^{dr}\tau_e$ — произведения дрейфовой подвижности на время жизни дырок и электронов соответственно. Зная экспериментальные чувствительности S для наших образцов

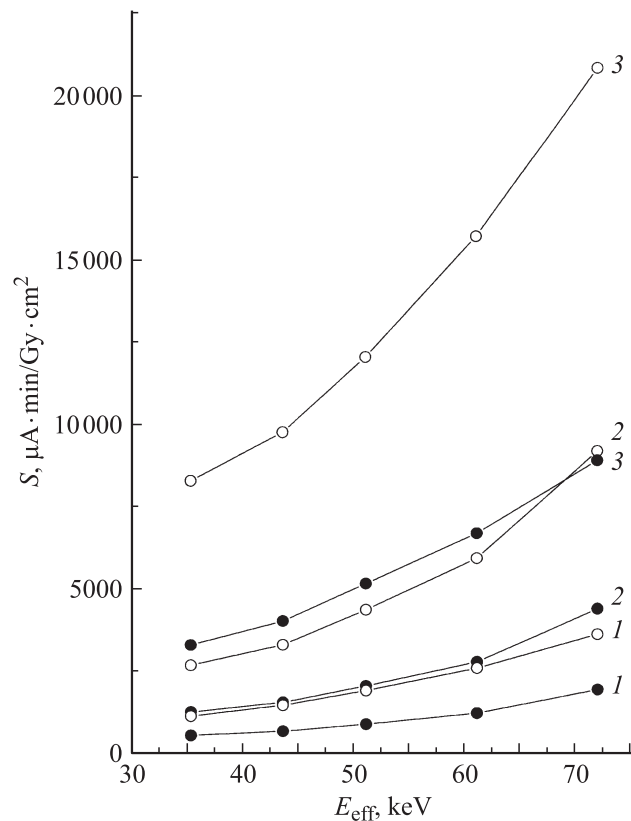


Рис. 3. Зависимость чувствительности детектора № 148 от эффективной энергии рентгеновского излучения для трех напряжений смещения: 1 — 50; 2 — 100; 3 — 200 В.

детекторов и используя формулу (2), можно определить произведения подвижности электронов и дырок на время их жизни в монокристаллах Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te, из которых были изготовлены детекторы. Поскольку использовался Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te с проводимостью *n*-типа, можно пренебречь величиной $\mu_h^{dr} \tau_h$, которая должна быть приблизительно на два порядка меньше в кристаллах *n*-типа, чем $\mu_e^{dr} \tau_e$. Таким образом,

$$\mu_e^{dr} \tau_e = \frac{S \varepsilon d^2}{I_0 [1 - \exp(-\mu d)] eV}, \quad (3)$$

где $\varepsilon = 4.65 \text{ eV}$ для Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te $I_0 = 3000 \text{ erg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{R})$ для эффективной энергии $E_{\text{eff}} = 60 \text{ keV}$, $\mu = 27.5 \text{ cm}^{-1}$ для $E_{\text{eff}} = 60 \text{ keV}$. В таблице приведены величины $\mu_e^{dr} \tau_e$, вычисленные по формуле (3) для трех образцов детекторов с использованием экспериментальных чувствительностей к рентгеновскому излучению при $E_{\text{eff}} = 60 \text{ keV}$ и трех напряжений смещения.

Наилучшие результаты для произведения $\mu_e^{dr} \tau_e$, известные из большинства работ последних лет для монокристаллов Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te, находятся на уровне порядка $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V}$ [4]. Нам известна лишь одна работа [5], в которой авторам удалось увеличить это значение до $1.1 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{V}$. Это было достигнуто благодаря добавлению в процессе роста CdZnTe примесей, которые значительно увеличивают время жизни электронов за счет превращения электрически заряженных дефектов в

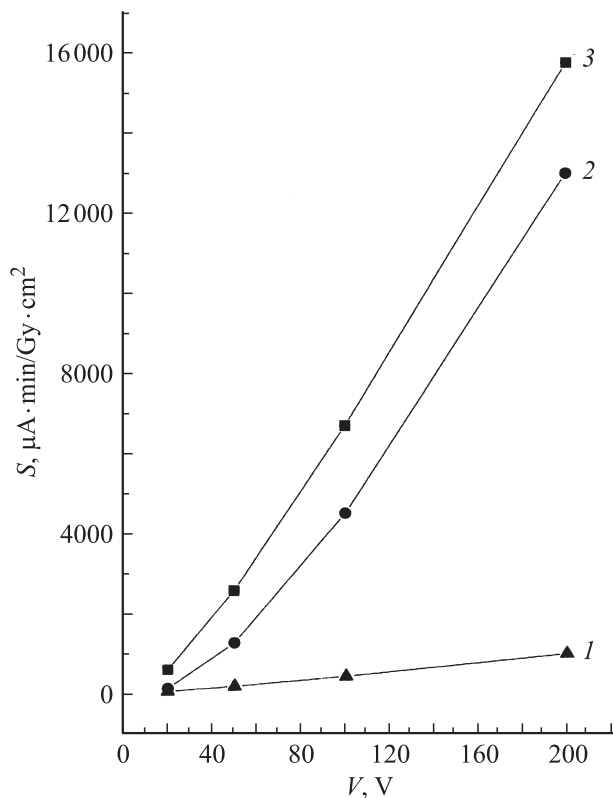


Рис. 4. Зависимость чувствительности детекторов 142 (1), 143 (2) и 148 (3) от напряжения смещения при эффективной энергии рентгеновского излучения 60 keV.

Значения $\mu_e^{dr} \tau_e$ для трех образцов детекторов, вычисленные по формуле (3) для $E_{\text{eff}} = 60 \text{ keV}$

№ образца	Толщина, см	Напряжение смещения, V	Чувствительность, $\mu\text{A min}/\text{Gy cm}^2$	$\mu_e^{dr} \tau_e$, cm^2/V
142	0.24	20	60	$8.4 \cdot 10^{-4}$
		50	160	$9.6 \cdot 10^{-4}$
		100	380	$1.1 \cdot 10^{-3}$
		200	920	$1.3 \cdot 10^{-3}$
143	0.19	20	120	$1.15 \cdot 10^{-3}$
		50	1250	$4.6 \cdot 10^{-3}$
		100	4450	$8.25 \cdot 10^{-3}$
		200	12900	$1.2 \cdot 10^{-2}$
148	0.27	20	590	$1.1 \cdot 10^{-2}$
		50	2550	$1.9 \cdot 10^{-2}$
		100	6640	$2.5 \cdot 10^{-2}$
		200	15660	$2.9 \cdot 10^{-2}$

нейтральные, что это за примеси, авторы не раскрывают. По нашему мнению, этот путь получения кристаллов Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te высокого детекторного качества является трудно воспроизводимым, поскольку сильно зависит от примесного состава исходных компонентов. Вероятно, более подходящим является метод глубокой очистки исходных материалов, что и показали наши исследования.

Из таблицы можно видеть, как возрастает произведение $\mu_e^{dr} \tau_e$ с повышением чистоты исходного Cd от образца 142 к образцу 143 и, наконец, к образцу 148. Полученные результаты отражают хорошие транспортные свойства материала, полученного в результате глубокой очистки Cd, Zn и Te и доочистки синтезированной CdZnTe непрерывной вакуумной сублимацией. Хорошие транспортные свойства обусловлены уменьшением рассеяния электронов на неконтролируемых примесях и увеличением длины свободного пробега электронов при использовании для синтеза Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te чистых компонентов.

Таким образом, проведенная нами глубокая очистка исходных компонентов Cd, Zn и Te и доочистка CdZnTe вакуумной сублимацией позволила вырастить монокристаллы Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te, из которых были изготовлены детекторы рентгеновского излучения с высокой чувствительностью в диапазоне эффективных энергий 32–72 keV.

Список литературы

- [1] Козлова.О.Г. Рост кристаллов. М.: МГУ, 1967. С. 238.
- [2] Иванов Ю.М., Лейбов В.А., Павлова Г.С. // Неорганические материалы. 1990. Т. 26. № 1. С. 66.
- [3] Павлова Г.С., Иванов Ю.М., Кронгауз А.Н. и др. Московский институт стали и сплавов. Тр. № 146. „Структура и свойства соединений А²В⁶“. М.: Металлургия, 1983. С. 85.
- [4] Ovens A., Peacock A. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A. 2004. Vol. 531. P. 18.
- [5] Li L., Lu F. et al. // IEEE. 2001. Vol. 4. P. 2396.