

05;12

Детекторы рентгеновского излучения на основе кристаллов CdZnTe, выращенных из паровой фазы

© В.Ф. Дворянкин,¹ Г.Г. Дворянкина,¹ А.А. Кудряшов,¹ А.Г. Петров,¹ А.А. Давыдов,²
Н.В. Жаворонков,² Д.В. Капкин²

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

² Закрытое акционерное общество „НИИ Материаловедения“,
124460 Москва, Зеленоград, Россия

(Поступило в Редакцию 16 декабря 2011 г.)

Изготовлены детекторы рентгеновского излучения на основе кристаллов $Cd_{0.92}Zn_{0.08}Te$, выращенных из паровой фазы. Исследованы основные характеристики детекторов. Показано, что кристаллы CdZnTe, выращенные из паровой фазы, могут успешно использоваться для изготовления детекторов рентгеновского излучения.

Кристаллы CdZnTe, которые использовались для изготовления детекторов рентгеновского излучения, выращивались в основном по методу Бриджмена или его модификациями [1–3]. Авторы использовали для детекторов рентгеновского излучения кристаллы $Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te$, выращенные с помощью осевого теплового потока вблизи фронта кристаллизации (ОТФ) [4,5] и по методу Обреимова–Шубникова [6,7]. Детекторы, изготовленные на кристаллах $Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te$, выращенных этими методами, показали хорошие результаты в отношении чувствительности к рентгеновскому излучению. В настоящей работе сделана попытка изготовить детекторы рентгеновского излучения, используя кристаллы CdZnTe, полученные осаждением из паровой фазы, и исследовать их характеристики.

На рис. 1 представлена схема метода выращивания монокристаллов $A^{III}B^{VI}$ осаждением из паровой фазы, разработанного в ЗАО „НИИ Материаловедения“ (Зеленоград) [8]. Процесс протекает в кварцевом реакторе 6 в открытой системе в восстановительной или инертной атмосфере. Перенос материала от поликристаллической загрузки 2 к затравке 4 происходит в пределах квазигерметичного объема ростовой камеры 3 при температуре 980–1050°C. Использование оригинальной конструкции четырехзонного нагревателя 7 и сапфирового световода 5 в качестве пьедестала под затравку позволяет создать условия, при которых за счет излучения от нижней поверхности кристалла происходит эффективный теплоотвод. Благодаря этому растущий в температурном градиенте монокристалл остается самым холодным элементом системы. Возможность нежелательного осаждения материала как на стенках ростовой камеры, так и на поверхности пьедестала полностью исключена. Регулировкой температурного профиля нагревателя по ходу процесса задается оптимальный режим разрастания кристалла до полного диаметра и его последующего роста. Со стороны нижнего торца световода можно наблюдать за разрастанием затравки.

Метод характеризуется следующими особенностями: 1) относительно низкой температурой процесса (приблизительно на 100°C ниже температуры плавления),

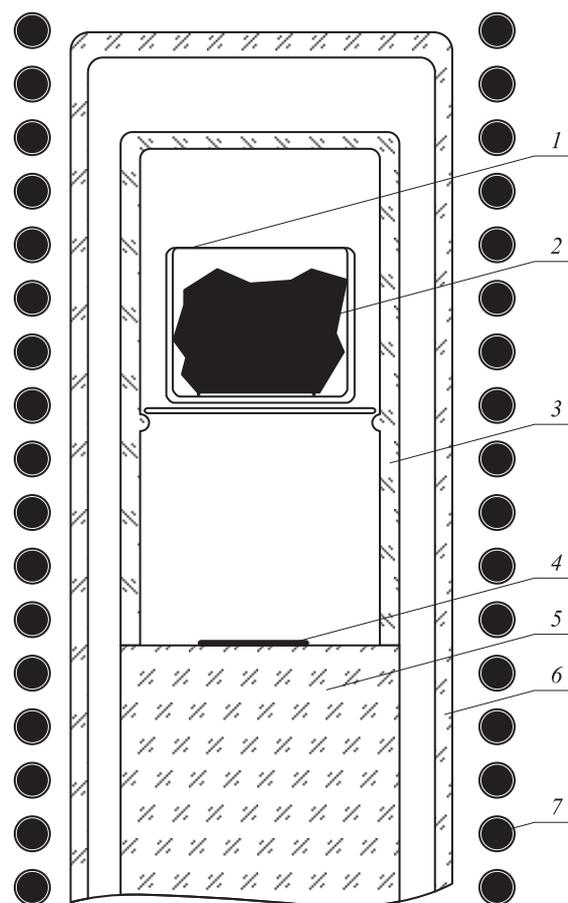


Рис. 1. Схема метода выращивания монокристаллов твердых растворов CdZnTe осаждением из равновесной паровой фазы: 1 — тигель, 2 — поликристаллическая загрузка, 3 — ростовая камера, 4 — затравка, 5 — сапфировый световод, 6 — реактор, 7 — нагреватель.

2) отсутствием контакта кристалла с химически активными конструкционными материалами, 3) дополнительной очисткой материала в процессе пересублимации через паровую фазу, 4) равновесным характером кристаллизации. В силу равновесного характера процесса достигается высокое кристаллическое совершенство материала с заданной ориентацией поверхности. Полученные монокристаллы характеризуются высокой однородностью параметров и могут быть практически полностью использованы для изготовления приборов.

На уровень детекторных характеристик монокристаллов влияет главным образом чистота исходной загрузки источника — поликристаллического твердого раствора $Cd_xZn_{1-x}Te$. Синтез поликристаллического материала проводился в вакуумной запаянной ампуле. Исходные компоненты Zn и Te марки 6N и Cd чистоты 6N, дополнительно легированный индием до уровня $(2-3) \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, загружаются в ампулу в виде гранул. Такой вариант загрузки способствует более равномерному распределению компонентов по объему расплава. Вакуумированная ампула помещается в двухзонную печь. После синтеза при температуре 850–950°C и плавки синтезированного материала при 1100–1150°C в течение 2 h проводится кристаллизация расплава. Весь процесс протекает при избыточном давлении паров Cd, которое контролируется температурой холодного конца ампулы.

В парафазном процессе происходит эффективная очистка материала от фоновых примесей. Концентрация индия остается на первоначальном уровне. Об этом свидетельствуют результаты масс-спектрометрического анализа образцов монокристаллического материала и тигельного остатка, взятых из одного процесса. Введение индия на уровне $(2-3) \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ позволило компенсировать концентрацию мелких акцепторов. Выращенные кристаллы CdZnTe имели проводимость *p*-типа, что обусловлено преобладанием глубоких акцепторных уровней, относящихся к вакансиям кадмия. Последующий

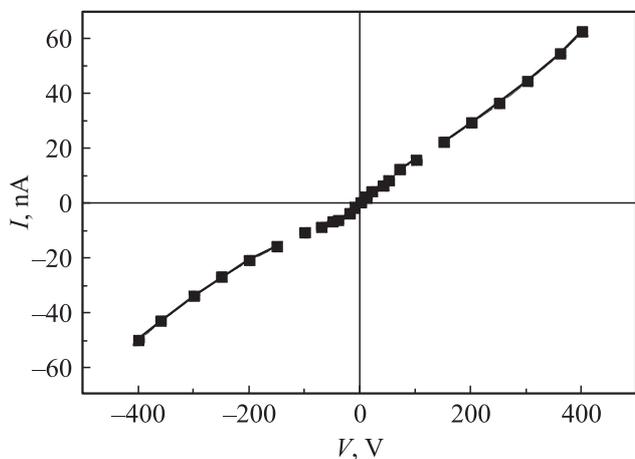


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика детектора на основе $Cd_{0.92}Zn_{0.08}Te$.

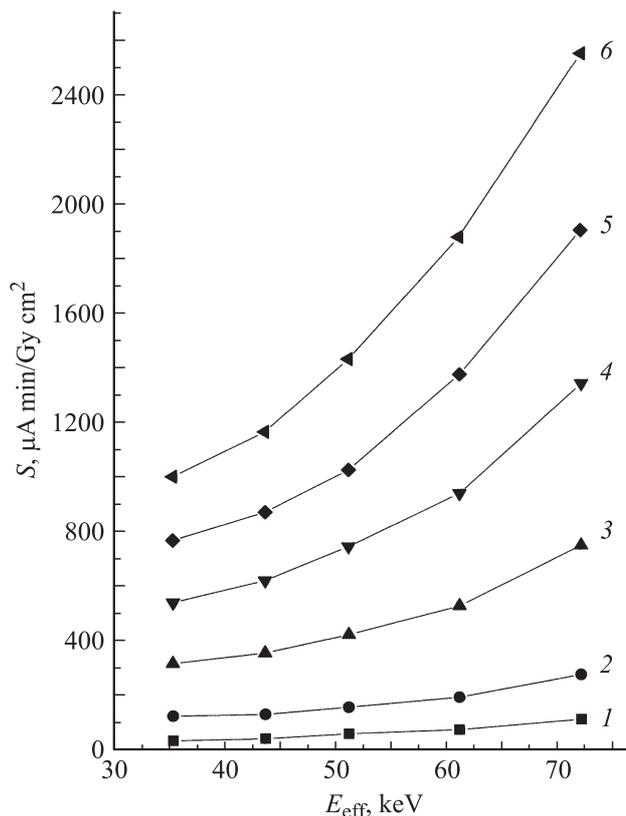


Рис. 3. Зависимость чувствительности детектора на основе $Cd_{0.92}Zn_{0.08}Te$ от эффективной энергии рентгеновского излучения для напряжений смещения: 1 — 50, 2 — 100, 3 — 200, 4 — 300, 5 — 400, 6 — 500 В.

низкотемпературный отжиг монокристаллов при контролируемом давлении пара кадмия понижает более чем на порядок концентрацию вакансий кадмия и приводит к получению удельного сопротивления, превышающего $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$.

Для изготовления детекторов рентгеновского излучения были использованы монокристаллы $Cd_{0.92}Zn_{0.08}Te$, выращенные из паровой фазы, с ориентацией базовых поверхностей по плоскости (100). Перед нанесением электрических контактов производилась резка монокристаллов, а также последующая шлифовка и химико-механическая полировка подконтактных поверхностей. Толщина образцов составляла 1.7–1.75 mm. Контакты, на которые подавалось электрическое напряжение, наносились путем восстановления золота из 3%-водного раствора золотохлористоводородной кислоты, нанесенного на свежеподготовленную поверхность.

На рис. 2 приведена вольт-амперная характеристика рентгеновского детектора, полученная в темноте в отсутствие рентгеновского излучения. Из рисунка видно, что нанесенные электрические контакты близки к омическим. Удельное сопротивление равно $1.5 \cdot 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$.

На рис. 3 показана зависимость чувствительности детектора на основе $Cd_{0.92}Zn_{0.08}Te$ от эффективной энер-

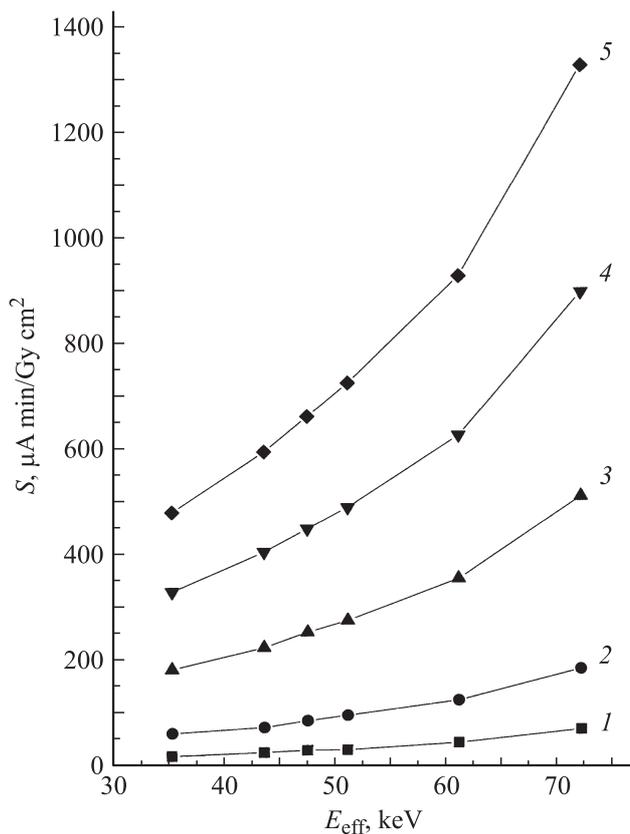


Рис. 4. Зависимость чувствительности детектора на основе $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ от эффективной энергии рентгеновского излучения для напряжений смещения: 1 — 50, 2 — 100, 3 — 200, 4 — 300, 5 — 400 В.

гии рентгеновского излучения в диапазоне 35–72 keV для нескольких напряжений смещения. На рис. 4 приведены зависимости чувствительности рентгеновского детектора на основе кристалла $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$, выращенного по методу ОТФ, от эффективной энергии рентгеновского излучения в том же диапазоне энергий и при тех же напряжениях смещения, что и на рис. 3. Из сравнения рис. 3 и 4 видно, что свойства этих детекторов почти одинаковы.

Таким образом, из результатов, полученных авторами для детектора на основе $\text{Cd}_{0.92}\text{Zn}_{0.08}\text{Te}$, выращенного из паровой фазы, можно сделать вывод, что этот метод выращивания кристаллов CdZnTe может быть успешно использован для изготовления детекторов рентгеновского излучения.

Список литературы

- [1] Tokahashi T., Watanabe S. // IEEE Trans. on Nuclear Sci. 2000. Vol. 20. P. 100.
- [2] Zha G., Jie W., Zeng D. et al. // Surf. Sci. 2006. Vol. 500. P. 2629.
- [3] Бут А.В., Мигаль В.П., Фомин А.С. // ФТП. 2011. Т. 45. Вып. 2. С. 157.

- [4] Marchenko M., Golyshev V., Vykova S.J. // Cryst. Growth. 2007. Vol. 303. P. 193.
- [5] Дворянкин В.Ф., Дворянкина Г.Г., Кудряшов А.А. и др. // ЖТФ. 2010. Т. 80. Вып. 2. С. 149.
- [6] Козлова О.Г. Рост кристаллов. М.: МГУ, 1957. 238 с.
- [7] Дворянкин В.Ф., Дворянкина Г.Г., Иванов Ю.М. и др. // ЖТФ. 2011. Т. 81. Вып. 5. С. 153.
- [8] Давыдов А.А., Ломов Ю.А., Марков Е.В., Ермолов В.Н. Способ получения монокристаллов полупроводниковых соединений $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$ из газовой фазы. А.с. № 1098311 от 15.06.82 г.