

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель директора по науке и
инновациям АО «Гиредмет»

М.Ю. Бамборин



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Акционерное общество «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет», на диссертационную работу
Павлюк Марины Дмитриевны
«Детекторные кристаллы на основе CdTe и $Cd_{1-x}Zn_xTe$ для прямого счета рентгеновских и гамма-квантов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

Диссертация Павлюк Марины Дмитриевны посвящена вопросам получения больших монокристаллов CdTe и CdZnTe (диаметр более 100 мм), и созданию на их основе рабочих элементов для использования в детекторах.

В свете реализации государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» и Федеральной научно-технической программы развития синхротронных и нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры на 2019 - 2027 годы, остро стоит проблема получения высококачественных монокристаллов CdTe и CdZnTe для создания на их основе рентгеновских детекторов прямого счета, работающих в широком энергетическом диапазоне при температурах близких к комнатной. В настоящее время в РФ не существует промышленного производства таких детекторов. В связи с вышесказанным, актуальность диссертационной работы Павлюк М.Д. не вызывает никакого сомнения.

В диссертационной работе Павлюк М.Д. предложена и применена оригинальная методика получения чистых компонентов Cd, Zn и Te; использование математического моделирования процесса роста, позволило ей оценить необходимые градиенты температур, приводящие к формированию плоского фронта кристаллизации, что позволило оптимизировать процесс выращивания кристаллов CdTe и CdZnTe для достижения оптимальных характеристик кристаллов. В сочетании выше сказанного автору удалось получить высококачественные беспреципитатные монокристаллы, структурное совершенство которых подтверждено с применением современных экспериментальных приборов.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов и списка цитируемой литературы. Объем диссертации составляет 153 страницы, включая 52 рисунка, 23 таблицы и список литературы из 147 наименований.

Во введении диссертации обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи работы, определены научная новизна, практическая значимость результатов исследования, перечислены методы исследования, изложены выносимые на защиту

научные положения, аргументирована достоверность полученных результатов. Здесь же дана информация об апробации и личном вкладе автора диссертации, публикациях по теме работы, кратко описаны структура и содержание диссертации.

Первая глава диссертационной работы представляет собой широкий обзор литературы и посвящена анализу результатов, полученных в предметной области, а именно, структуре, свойствам, основным способам получения кристаллов и методам исследования их свойств. На основе литературного обзора автором сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

Во второй главе подробно рассматриваются условия очистки Cd, Te и Zn и влияние условий на степень чистоты данных материалов.

Третья глава посвящена численному моделированию процесса роста кристаллов CdTe (диаметром более 100 мм) методом Обреимова-Шубникова. Задача решалась с использованием программного обеспечения ANSYS 14.5 Fluent, основанного на использовании приближенных методов математического моделирования. Рассчитано движение фронта кристаллизации в процессе роста CdTe-кристалла по 5 точкам кристаллизации. Особо хочу отметить, что для надежности полученных результатов автором были проведены дополнительные исследования. Для подтверждения адекватности численной модели, были получены результаты, выполненные методом рентгеновской топографии с использованием синхротронного излучения. Результаты топографии полностью подтвердили результаты расчетов.

В четвертой главе представлены результаты оптимизации процесса выращивания монокристаллов CdTe и $Cd_{1-x}Zn_xTe$. Приводится описание и особенности ростового оборудования. На основе теоретического анализа, была смоделирована программа посткристаллизационного охлаждения кристаллов CdTe и $Cd_{1-x}Zn_xTe$. С использованием посткристаллизационного охлаждения, получены монокристаллы $Cd_{1-x}Zn_xTe$ большого диаметра с отсутствием малоугловых границ, микродвойников и микрофазных включений, с плотностью дислокаций $1,25 \times 10^4 \div 3 \times 10^4 \text{ см}^{-2}$.

В пятой главе представлены результаты исследований влияния качества обработки кристаллов на электрические и спектральные характеристики чувствительных элементов. На базе полученных кристаллов был изготовлен многоэлементный рентгеновский детектор, обладающий достойными характеристиками. Это открывает широкие перспективы применения разработанного устройства в различных областях науки и техники.

В заключении диссертации изложено обобщение проведенных исследований, приводятся выводы проведенных исследований, в полном соответствии с заявленными целью и задачами работы. В качестве наиболее важных результатов, представленных в диссертации, следует выделить следующие:

1. Была реализована методика глубокой очистки Cd, Zn и Te с минимальными потерями исходного материала;
2. Были определены оптимальные условия роста кристаллов CdTe с плоским фронтом кристаллизации, позволяющие уменьшить структурные дефекты;
3. Были получены качественные беспреципитатные монокристаллы $Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te$ диаметром до 120 мм, характеризующиеся структурным совершенством и высоким удельным электрическим сопротивлением, с использованием четырехступенчатого охлаждения монокристаллов.

4. Были установлены оптимальные времена травления и концентрации травителя для механохимической полировки поверхности кристаллов CdTe и CdZnTe, что позволило получить параметр шероховатости менее 1 нм на сантиметровых размерах обрабатываемых пластин, что позволило снизить величины темновых токов и увеличить эффективное удельное электросопротивление до $10^{10} - 10^{11}$ Ом·см;

В качестве научной новизны можно выделить несколько основных пунктов:

1. Впервые в РФ разработана и реализована методика получения особо чистых материалов Cd и Te, не уступающих по степени чистоты материалам, получаемых мировым лидером (Acorad Co., Ltd (Япония)), а для Zn достигнута степень очистки на порядок превосходящая, реализуемого мировым лидером. Потери очищаемого материала разработанным методом составляют менее 1%.
2. Усовершенствована методика обработки поверхности кристаллов CdTe и CdZnTe, обеспечивающая шероховатость поверхности на уровне 0,8 нм, что на сегодняшний день является максимальным показателем, и соответствует шероховатости, обнаруживаемой на сколах данных кристаллов по плоскостям, являющимися плоскостями спайности.
3. Впервые в РФ на основе выращенных монокристаллов CdTe и CdZnTe был изготовлен многоэлементный рентгеновский детектор и получено цифровое рентгеновское изображение.

Практическая значимость работы не вызывает сомнения. Результаты работы Павлюк М.Д. могут быть использованы как полноценный технологический маршрут создания рентгеновских детекторов прямого счета – от исходных материалов к готовому продукту.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием современных методик и приборов: масс – спектральным анализом с индуктивно – связанной плазмой (MS); атомно – эмиссионным анализом с индуктивно – связанной плазмой (AES); энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (ЭДС); математическим моделированием в программе ANSYS Fluent 14.5; катодолюминесценцией, электронной и оптической (видимый и ИК-диапазоны) микроскопией, рентгеновской дифракцией и рефлектометрией и рентгеновской топографией на синхротронном источнике. Также достоверность результатов подтверждается наличием патентов и публикаций в рецензируемых научных изданиях и выступлениями на российских и международных конференциях.

Личный вклад Павлюк М.Д. также не вызывает сомнений. Прделан большой объем экспериментальной работы, включающий в себя несколько этапов: подбор условий экспериментов, получение образцов, подготовку исследуемых образцов, проведение экспериментов и анализ полученных результатов. Вся работа проделана лично автором или при ее непосредственном участии.

К диссертации Павлюк М.Д. имеется ряд замечаний:

1. Для полноты картины следовало бы провести эксперименты по определению значений μ_t , транспортных характеристик материала.
2. В работе имеется ряд опечаток.

Сделанные замечания носят в основном рекомендательный характер и ни в коем случае не снижают ценность выполненных диссертантом работ и не могут повлиять на общую, высокую положительную оценку рецензируемой работы. Автореферат

диссертации кратко, и в то же время, достаточно полно отражает содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа представляет собой завершённую научно-квалификационную работу и полностью соответствует всем критериям и требованиям раздела II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, а её автор, Павлюк Марина Дмитриевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния».

Диссертационная работа Павлюк М. Д. «Детекторные кристаллы на основе CdTe и $Cd_{1-x}Zn_xTe$ для прямого счета рентгеновских и гамма-квантов» заслушана и обсуждена на заседании Объединенного научно-технического совета АО «Гиредмет», протокол № 2 от 29 июня 2020 года.

Отзыв заслушан и утвержден на заседании Объединенного научно-технического совета АО «Гиредмет», протокол № 2 от 29 июня 2020 года.

Отзыв составили:

Заведующий лабораторией полупроводниковых соединений АПВIV, канд. техн. наук



И.А. Денисов

Начальник отдела учёного секретаря –
Учёный секретарь, д-р физ.-мат. наук



А.А. Шмаков

« 29 » июня 2020 г.

Акционерное общество «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет».

Адрес: 111524, г. Москва, ул. Электродная, д.2, стр.1, этаж 5, пом. VI, ком. 39.

Тел.: +7(495) 955-00-32.

Оф. сайт: <http://www.giredmet.ru/>

E-mail: pyn@giredmet.ru