

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

На правах рукописи

УДК 621.315.592.2; 538.911; 538.956; 538.958

ЛОБАНОК
Артём Владиславович

**ФОРМИРОВАНИЕ БУФЕРНЫХ СЛОЕВ In_2S_3
ДЛЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание степени
магистра технических наук

по специальности 1-38 80 04 «Технология приборостроения»

Минск 2016

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Павлюковец Сергей Анатольевич**
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой химии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **Казека Александр Анатольевич**
кандидат технических наук, доцент, начальник отдела студенческой науки и магистратуры учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «24» июня 2016 г. года в 9⁰⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 1 уч. корп., ауд. 415, тел.: 293-20-87, e-mail: kafpiks@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

СОГЛАСОВАНО:

С.А. Павлюковец
1.06.2016 г.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня солнечные элементы на основе тонких пленок нашли широкое применение в промышленных масштабах, благодаря их эффективности, использованию, куда меньших количеств реактивов для получения, чем в случае их объемных аналогов. Одним из примеров таких преобразователей являются батареи на основе тонких пленок твердых растворов $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}(\text{S}, \text{Se})_2$. Преимущество таких многокомпонентных соединений в их высоком КПД преобразования солнечного излучения, высоком коэффициенте поглощения излучения, оптимальной ширине запрещенной зоны, экологичности и повышенной радиационной устойчивости.

Бескадмиевые пленки широкозонных материалов, получаемые методами низкотемпературного осаждения в вакууме, более перспективны для компонентов фотоэлектрических устройств. Структурно-фазовые, электрические и оптические свойства слоев, получаемых вновь разработанным методом термического испарения мишеней сульфида индия In_2S_3 , изучались в большом количестве работ. Тем не менее, не достигнуто соотношение толщины, микроструктурных и оптических характеристик слоев, что характерно для пленок сульфида индия, изготовленных другими способами и затрудняет их применение.

Для получения тонких поликристаллических пленок In_2S_3 применяются такие методы, как испарение, сульфидизация, химическое и электрохимическое осаждение, распыление пучком электронов, спрей-пиролиз и др., однако наиболее дешевым и простым в исполнении является метод термического вакуумного испарения. Использование данного метода приближает условия формирования пленки к термодинамически равновесным пленкам, что позволяет получать однородные по толщине и площади однофазные тонкие пленки с необходимыми физическими характеристиками.

Таким образом, основным направлением диссертационного исследования является установление закономерностей изменения микроструктуры и оптических свойств тонких пленок In_2S_3 в зависимости от технологических режимов их получения методом термического испарения и исследование взаимосвязи указанных свойств для определения оптимальных условий формирования пленок In_2S_3 , предназначенных для использования в оптоэлектронных приборах. Результаты работы позволят создать научно-техническую базу для технологии получения тонких пленок In_2S_3 с последующей разработкой на основе указанных пленок приборов оптоэлектроники с улучшенными функциональными характеристиками.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Буферный слой является важной составляющей солнечного элемента. Интенсивные исследования соединений для буферных слоев начались в конце 90-х годов XX столетия, Получаемое в настоящей работе соединение In_2S_3 обладает физическими свойствами, которые дают возможность использовать данный материал в качестве буферного слоя в тонкопленочных преобразователях солнечной энергии, кроме того он является экологически безопасным в отличие от применяемого в данное время соединение CdS . Указанные достоинства и определили актуальность выбранной темы работы.

Степень разработанности проблемы

Теоретические и практические вопросы и особенности получения пленок раскрыты в трудах зарубежных ученых – А. Тепоре, Р. Релла, П. Сицилиано, А.В. Заслонкин и др. Исследование физических свойств тонких пленок нашли отражение в работах А.И. Бусева, В. П. Счастливого, В. М. Каминского, М. Хансена, К. Андерко и др. Также данные вопросы рассматривают в своих работах и представители белорусской науки – И.В. Боднар, В.Ф. Гременок, В.А. Полубок.

Цели и задачи исследования

Целью диссертационной работы является установление закономерностей изменения микроструктуры и оптических свойств тонких пленок In_2S_3 в зависимости от условий их получения.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Методом вакуумного напыления получить тонкие пленки In_2S_3 на стеклянных подложках и исследовать влияние режимов получения на их кристаллическую структуру, элементный, фазовый состав и морфологию.
2. Исследовать влияние термического отжига пленок в температурном интервале 300...400 °С в течение 30...60 мин на их кристаллическую структуру, элементный, фазовый состав и морфологию.
3. Исследовать оптические характеристики тонких пленок In_2S_3 , в том числе спектры оптического пропускания и комбинационного рассеяния света в зависимости от условий получения.

Объектом исследования являлись тонкие пленки In_2S_3 , полученные методом вакуумного испарения. Предмет исследования – физико-химические и оптические свойства тонких пленок. Выбор объекта и предмета исследования обусловлен перспективой использования пленок In_2S_3 в качестве экологически безопасного материала в тонкопленочных фотоэлектрических преобразователях.

Область исследования

Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-38 80 04 «Технология приборостроения».

Теоретическая и методологическая основа исследования

Теоретической основой исследований, проведенных в работе, являются методы получения тонких пленок.

Методологической основой исследования являются разработки отечественных и зарубежных авторов, методические материалы, труды отечественных и зарубежных учёных и научные труды в области получения тонких пленок. В магистерской диссертации используются следующие общенаучные методы: структурный, факторный и сравнительный анализ, метод формализации, метод моделирования. Выращивание монокристаллов исследуется в рамках структурного и компонентного подходов, при создании инструментального средства используется методология системного проектирования, графические нотации. В диссертации используется системный подход к разработке архитектуры инструментального средства. В основу изложения научных результатов положена гипотетико-дедуктивная схема научного исследования.

Информационная база исследования сформирована на основе сведений из научных изданий, ресурсов Интернет, экономических данных по договорам на проведение научно-исследовательских работ, описания результатов НИР, а также материалов научных изданий, конференций и семинаров.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы состоит в определении микроструктурных (кристаллическая структура, фазовый и элементный состав, морфология поверхности, размеры кристаллитов) и оптических характеристик тонких пленок In_2S_3 и установлении их взаимосвязи с технологическими режимами формирования слоев (температура подложки, толщина пленки, температура и время термического отжига). Важным является также то, что термический отжиг тонких пленок приводит к фазовому переходу от тетрагональной к кубической кристаллической структуре. Экспериментальные данные по изменению оптической ширины запрещенной зоны пленок In_2S_3 в зависимости от условий получения представляются важными для прогнозирования физических характеристик тонкопленочных солнечных элементов на их основе.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Методика получения пленок In_2S_3 толщиной 400...1500 нм путем вакуумного термического напыления (температура подложки 200...240 °С) с последующим термическим отжигом в температурном интервале 300...400 °С в течение 30...60 мин.

2. Характер изменения морфологии поверхности, шероховатости (1,30...5,06 нм) и размеров зерна (50...75 нм) пленок In_2S_3 в зависимости от технологических режимов напыления и термического отжига, что позволяет получать слои с требуемыми микроструктурными характеристиками для использования в различных типах фоточувствительных структур.

3. Экспериментально установленные оптические характеристики (коэффициент оптического поглощения $\alpha = 10^3...5 \times 10^4 \text{ см}^{-1}$, прямые и непрямые оптические переходы, ширина запрещенной зоны 1,47...2,70 эВ) тонких пленок In_2S_3 в

зависимости от условий их формирования, расширяющие представления о физических свойствах указанного соединения In_2S_3 и его практическом применении.

Апробация результатов диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на республиканских и международных научных конференциях. Отдельные положения диссертации могут быть использованы в преподавании технических дисциплин.

Публикации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 6 (шести) печатных работах. Три тезиса доклада на научных конференциях, три статьи в научных журналах.

Основные положения диссертации и результаты исследования изложены в шести опубликованных работах общим объемом 1,09 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из перечня условных обозначений и сокращений, введения, общей характеристики работы, 4 глав основной части, заключения и библиографического списка.

В первой главе представлен обзор литературных данных. Рассмотрена характеристика буферных слоев для полупроводниковых оптоэлектронных приборов. Проанализирована структура соединения In_2S_3 . Рассмотрена кристаллическая структура и представлена диаграмма состояния In_2S_3 . Проанализированы физические свойства In_2S_3 , а так же изучены методы получения буферных пленок In_2S_3 . **Во второй главе** представлена методика получения буферных пленок In_2S_3 , методы исследования микроструктуры и оптических свойств. Изучался метод термического испарения для получения пленок In_2S_3 . Так же в этой главе рассматривается методика исследования кристаллической структуры и фазового состава пленок In_2S_3 . Проводится исследование поверхности буферных слоев. Предлагаются возможные аспекты определения оптических характеристик тонких пленок. **В третьей главе** описана методика получения тонких пленок In_2S_3 . Проведен рентгеноструктурный анализ поликристаллов In_2S_3 . Определена кристаллическая структура, фазовый и элементный составы In_2S_3 . **В четвертой главе** исследованы оптические характеристики тонких пленок In_2S_3 в зависимости от режимов формирования. Изучены спектры оптического пропускания и спектры комбинационного рассеивания света тонких пленок In_2S_3 .

Общий объем диссертационной работы составляет 132 страницы. Объем основного текста диссертации составляет 96 страниц. Работа содержит 36 рисунков, 12 таблиц. Библиографический список включает в себя 210 наименований (в том числе 6 публикаций автора).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** определены основные направления исследований, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы.

В **первой главе** представлен обзор литературных источников. Рассмотрены результаты исследований физико-химических, оптических и электрических свойств In_2S_3 . Проведён анализ модификаций In_2S_3 , а так же выяснено какая из модификаций является стабильной.

Во **второй главе** в соответствии с целью диссертационной работы для получения тонких пленок In_2S_3 был использован метод термического вакуумного испарения. В качестве испаряемого материала для получения тонких пленок использованы порошки In_2S_3 , получаемые методом сплавления компонентов (индия и серы).

Установка для напыления в вакууме (рисунок 1) состоит из плоской плиты 6, на которой устанавливается стеклянный или металлический колпак 9. В последнем случае он снабжается смотровым стеклом. На плите предусмотрены два изолированных вакуумплотных вывода 4 для питания испарителя 3. На некотором расстоянии от испарителя помещается подложка 10, на которую наносится тонкая пленка. Подложка нагревается и до достижения заданного режима закрыта заслонкой 1.

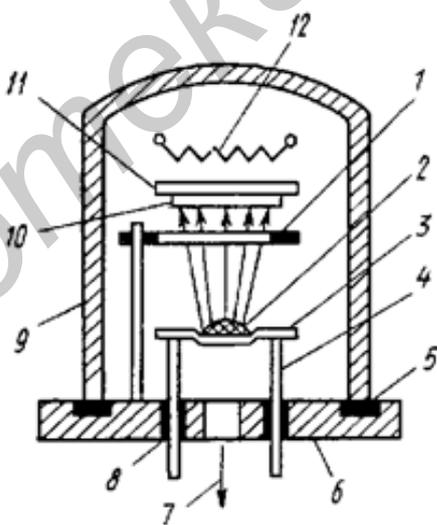


Рисунок 1 – Установка для термического напыления в вакууме

Для изучения микроструктуры полученных пленок In_2S_3 в зависимости от условий получения использовались такие методы, как рентгеновская дифракция, рентгеноспектральный микроанализ, сканирующая электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния света с применением современного оборудования и программного обеспечения для обработки полученных данных.

Для определения величины коэффициента поглощения пленок вблизи края собственного поглощения использовалась процедура расчета, основанная на анализе спектров пропускания для областей сильного и слабого поглощения.

Рассмотрим тонкую поглощающую пленку на толстой прозрачной подложке, как показано на рисунке 4. Пленка имеет толщину d , комплексный показатель преломления $n = n - ik$, где n — индекс преломления и k — коэффициент экстинкции, который связан с коэффициентом поглощения соотношением $k = \alpha\lambda/4\pi$.

Прозрачная подложка имеет толщину в несколько порядков больше чем d и имеет индекс преломления n_0 и коэффициент поглощения $\alpha_s = 0$. Показатель преломления окружающей среды (воздуха) $n_0 = 1$. При вычислениях T необходимо принимать во внимание все многократные отражения на трех границах раздела.

В третьей главе представлены результаты исследований кристаллической структуры и фазового состава поликристаллов In_2S_3 , использованных для получения пленок, а также микроструктуры пленок In_2S_3 , полученных методом вакуумного напыления с последующим термическим отжигом. Изучено влияние температуры отжига на тип кристаллической структуры, представлены параметры элементарной ячейки пленок In_2S_3 , а также данные о морфологии и топологии пленок.

Разрабатывалась методика формирования тонких пленок In_2S_3 толщиной 400...1500 нм путем вакуумного термического напылением (температура подложки 200...240 °С) с последующим термическим отжигом в температурном интервале 300...400 °С в течение 30...60 мин., которые по своему элементному составу и кристаллической структуре соответствуют объемным кристаллам.

Установлено, что тонкие пленки до отжига аморфные. После отжига пленок In_2S_3 , при 330 °С в течение 30 мин. на рентгенограммах появляются рефлексы 103, 214, 324 и 303, соответствующие кристаллической тетрагональной фазе In_2S_3 . Отжига при 400 °С в течение 30 и 60 мин приводит к появлению в пленках тетрагональной и кубической фаз (рисунок 2 и рисунок 3), что согласуется с литературными данными.

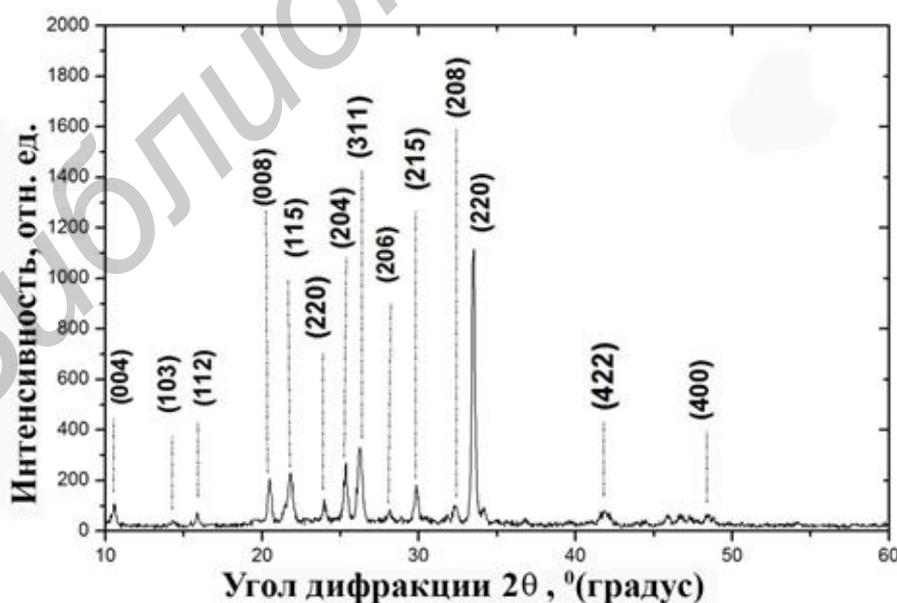


Рисунок 2 – Типичная рентгенограмма пленки In_2S_3 толщиной 1200 нм после отжига при температуре $T= 400$ °С, 30 мин

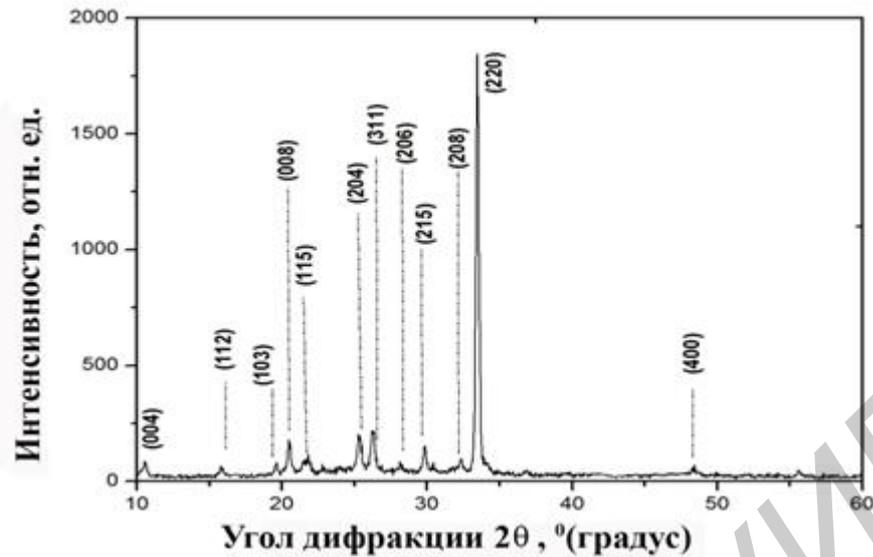


Рисунок 3 – Типичная рентгенограмма пленки In_2S_3 толщиной 1200 нм после отжига при температуре $T = 400^\circ\text{C}$, 60 мин

Исследования морфологии поверхности показали, что тонкие пленки являются оптически однородными без проколов и микротрещин. Размер зерен увеличиваются от 50 нм до 75 нм с увеличением температуры и времени отжига. Плотность дислокаций изменяется от $4 \times 10^{10} (\text{см}^{-2})$ до $1,7 \times 10^{10} (\text{см}^{-2})$ с ростом температуры отжига от 330°C (60 мин.) до 400°C (60 мин.).

Анализ химического состава показал, что основными элементами плёночных образцов являются индий (In) и сера (S), но компонентный состав покрытий меняется с ростом их толщины (таблица 1). Хотя в слоях, прилегающих к поверхности плёнок, образцы показали отношение $S/\text{In} = 1,5$, характерное для соединения In_2S_3 стехиометрического состава. Вместе с тем в области тонкого слоя, прилегающего к подложке, обнаружено S/In отношение приблизительно равное 1, указывающее на наличие в этих слоях недостатка серы.

Таблица 1 – Элементный состав пленок In_2S_3

	At%, In	At%, S	S/In
теоретические значения	40	60	1,50
До отжига	41,29	58,71	1,42
Отжиг при температуре 330°C и 60 мин	41,02	58,98	1,44
Отжиг при температуре 400°C и 30 мин	40,79	59,21	1,45
Отжиг при температуре 400°C и 60 мин	40,04	59,96	1,50

В четвертой главе представлены результаты исследования оптических свойств тонких пленок In_2S_3 . Изучена зависимость между условиями получения, микроструктурой и спектральными характеристиками пленок.

Исследована природа оптических переходов в пленках In_2S_3 в зависимости от режимов получения. Показано, что пленки имеют коэффициент оптического поглощения ($\alpha = 10^3 \dots 5 \times 10^4 \text{ см}^{-1}$) и обладают как прямыми, так и непрямыми оптическими переходами.

Показано, что оптические характеристики тонких пленок In_2S_3 зависят от условий их формирования. На основе установленных закономерностей оптимизированы условия получения пленок толщиной 400...1500 нм с шириной запрещенной зоны в интервале 1,47...2,70 эВ.

Впервые с использованием Рамановской спектроскопии (спектры комбинационного рассеяния света) исследовано влияния эффекта термического отжига на кристаллическую структуру и фазовый состав пленок In_2S_3 различной толщины. Наблюдаемые рефлексы могут быть классифицированы как, $9A_1$ и $14E$ моды, характерные для спектров кристаллов In_2S_3 . Установлено, что изменения в сдвиге и ширине рефлексов для пленок обусловлено температурой и временем термообработки. Результаты исследований показали, что термический отжиг тонких пленок In_2S_3 приводит к фазовому переходу от тетрагональной к кубической кристаллической структуре, что подтверждается данными рентгеновских исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика формирования тонких пленок In_2S_3 толщиной 40...1500 нм путем вакуумного термического напылением (температура подложки 200...240 °С) с последующим термическим отжигом в температурном интервале 300...400 °С в течение 30...60 мин., которые по своему элементному составу и кристаллической структуре соответствуют объемным кристаллам.

Установлено, что тонкие пленки до отжига аморфные. После отжига пленок In_2S_3 при 330 °С в течение 30 мин. на рентгенограммах появляются рефлексы 103, 214, 324 и 303, соответствующие кристаллической тетрагональной фазе In_2S_3 . Отжига при 400 °С в течение 30 и 60 мин приводит к появлению в пленках тетрагональной и кубической фаз, что согласуется с литературными данными.

Исследования морфологии поверхности показали, что тонкие пленки являются оптически однородными без проколов и микротрещин. Размер зерен увеличиваются от 50 нм до 75 нм с увеличением температуры и времени отжига. Плотность дислокаций изменяется от $4 \times 10^{10} \text{ (см}^{-2}\text{)}$ до $1,7 \times 10^{10} \text{ (см}^{-2}\text{)}$ с ростом температуры отжига от 330 °С (60 мин.) до 400 °С (60 мин.).

Анализ пленок методом атомно-силовой микроскопии показал, что с увеличением температуры и времени отжига средняя и среднеквадратическая шероховатости увеличиваются от 1,30 нм, 1,68 нм до 3,97 нм, 5,06 нм соответственно. Эти результаты обеспечивают более полное представление о влиянии параметров отжига на морфологические особенности тонких пленок In_2S_3 в соответствии с требованиями к поверхности при создании оптоэлектронных устройств.

Исследована природа оптических переходов в пленках In_2S_3 в зависимости от режимов получения. Показано, что пленки имеют коэффициент оптического поглощения ($\alpha = 10^3 \dots 5 \times 10^4 \text{ см}^{-1}$) и обладают как прямыми, так и непрямыми оп-

тическими переходами. Полученные в области фундаментального края поглощения характеристики оптических переходов согласуются с выводами теоретического анализа зонной структуры объемных монокристаллов.

Показано, что оптические характеристики тонких пленок In_2S_3 зависят от условий их формирования. На основе установленных закономерностей оптимизированы условия получения пленок толщиной 400...1500 нм с шириной запрещенной зоны в интервале 1,47...2,70 эВ, удовлетворяющие требованиям для использования их в качестве буферных и поглощающих слоев при создании тонкопленочных солнечных элементов на их основе.

Впервые с использованием Рамановской спектроскопии (спектры комбинационного рассеяния света) исследовано влияния эффекта термического отжига на кристаллическую структуру и фазовый состав пленок In_2S_3 различной толщины. Наблюдаемые рефлексы могут быть классифицированы как, $9A_1$ и $14E$ моды, характерные для спектров кристаллов In_2S_3 . Установлено, что изменения в сдвиге и ширине рефлексов для пленок обусловлено температурой и временем термообработки. Результаты исследований показали, что термический отжиг тонких пленок In_2S_3 приводит к фазовому переходу от тетрагональной к кубической кристаллической структуре, что подтверждается данными рентгеновских исследований.

Представленная в работе методика получения тонких пленок In_2S_3 может использоваться для получения слоев, пригодных для применения в приборах оптоэлектроники. Информация о фундаментальных физических параметрах пленок In_2S_3 , структурных и оптических характеристик, элементном составе (параметры элементарной ячейки, коэффициент поглощения, ширина запрещенной зоны, характер оптических переходов и др.) может быть использована в качестве справочных данных для материаловедения, разработки и расчета характеристик тонкопленочных солнечных элементов на основе этого материала. Экспериментальные результаты по связи микроструктуры и оптических характеристик с технологическими режимами формирования слоев In_2S_3 на стеклянных подложках могут быть использованы для совершенствования технологии создания высокоэффективных фотопреобразователей, как источников энергообеспечения в земных и космических условиях.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники” в учебные курсы “Первичные измерительные преобразователи и их применение в системах обеспечения безопасности” и “Датчики электронных систем безопасности”.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. Лобанок, А. В. Оптические характеристики кристаллов и пленок In_2S_3 / А. В. Лобанок, А. С. Середа // Материалы работы 52-й научной конференции

аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск: БГУИР, 25-30 апреля 2016 (в печати)

2. Лобанок, А. В. Методика и теоретические аспекты определения оптических характеристик пленок / А. В. Лобанок // Материалы работы 52-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск: БГУИР, 25-30 апреля 2016 (в печати)

3. Серeda, А. С. Анализ буферных слоев для солнечных элементов / А. С. Серeda, А. В. Лобанок // Материалы работы 52-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск: БГУИР, 25-30 апреля 2016 (в печати)

4. Серeda А. С. Анализ маршрутов производства тонкопленочных солнечных элементов / Серeda А. С., Лобанок А. В // Научно-практический журнал «Высшая школа», №11 / 2016 – Уфа: Инфинити, 15 июня 2016 – С. 101

5. Лобанок, А. В. Методы получения тонких пленок In_2S_3 для оптоэлектронных приборов / Лобанок А. В, Серeda А. С. // Научно-практический журнал «Высшая школа», №11 / 2016 – Уфа: Инфинити, 15 июня 2016 – С. 115

6. Лобанок, А. В. Кристаллическая структура In_2S_3 / А. В. Лобанок // Научно-практический журнал «Научный обозреватель», №6 / 2016 – Уфа: Инфинити, 20 июня 2016 – С. 70

РЭЗІЮМЭ

Лабанок Арцём Уладзіслававіч

Фарміраванне буферных слаёў In_2S_3 для тонкаплёнкавых фотаадчувальных структур

Ключавыя словы: тэрмічнае вакуумнае выпарэнне, тонкія плёнкі, марфалогія паверхні, крышталічная структура, шырыня забароненай зоны, спектры камбінацыю-оннага расейвання святла.

Мэта работы: ўсталяванне заканамернасцяў змены мікраструктуру і аптычных уласцівасцяў тонкіх плёнак In_2S_3 ў залежнасці ад умоў іх атрымання.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: Распрацавана метадыка фарміравання тонкіх плёнак In_2S_3 таўшчынёй 400 ... 1500 нм метадам вакуумнага тэрмічнага выпарэння з наступным тэрмічным адпалам ў тэмпературным інтэрвале 300 ... 400 °С на працягу 30 ... 60 мін. Устаноўлена, што адпал пры 400 °С на працягу 30 і 60 мін прышчапіць-дзіт да з'яўлення ў стужках тетрагональнай і кубічнай фаз. Даследаванні марфалогіі паверхні паказалі, што памер зерняў тонкіх плёнак павялічым-ваецца ад 50 да 75 нм з павелічэннем тэмпературы і часу адпалу. Вызначана прырода аптычных пераходаў у стужках In_2S_3 ў залежнасці ад рэжымаў атрымання. Разлічана шырыня забароненай зоны, якая склала 1,47 ... 2,70 эв.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранены ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфар-най-камп'ютэрных сістэм ўстанова адукацыі «Беларускі дзяр-ны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі» у навучальныя курсы «Першасныя вымяральныя пераўтваральнікі і іх прымяненне ў сістэмах забеспячэння бяспекі» і «Датчыкі электронных сістэм бяспекі».

Вобласць ужывання: фізіка і тэхналогія тонкіх плёнак, тонкаплёнкавыя прыборы полупроводни-ковой оптаэлектронікі, якія працуюць у бачнай і блізкай інфрачырвонай аб-ластах спектру.

РЕЗЮМЕ

Лобанок Артем Владиславович

**Формирование буферных слоев In_2S_3 для тонкопленочных
фоточувствительных структур**

Ключевые слова: термическое вакуумное испарение, тонкие пленки, морфология поверхности, кристаллическая структура, ширина запрещенной зоны, спектры комбинационного рассеяния света.

Цель работы: установление закономерностей изменения микроструктуры и оптических свойств тонких пленок In_2S_3 в зависимости от условий их получения.

Полученные результаты и их новизна: Разработана методика формирования тонких пленок In_2S_3 толщиной 400...1500 нм методом вакуумного термического испарения с последующим термическим отжигом в температурном интервале 300...400 °С в течение 30...60 мин. Установлено, что отжиг при 400 °С в течение 30 и 60 мин приводит к появлению в пленках тетрагональной и кубической фаз. Исследования морфологии поверхности показали, что размер зерен тонких пленок увеличивается от 50 до 75 нм с увеличением температуры и времени отжига. Определена природа оптических переходов в пленках In_2S_3 в зависимости от режимов получения. Рассчитана ширина запрещенной зоны, которая составила 1,47...2,70 эВ.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебные курсы «Первичные измерительные преобразователи и их применение в системах обеспечения безопасности» и «Датчики электронных систем безопасности».

Область применения: физика и технология тонких пленок, тонкопленочные приборы полупроводниковой оптоэлектроники, работающие в видимой и ближней инфракрасной области спектра.

SUMMARY

Labanok Artsiom Vladislavovich

The formation of buffer layers for thin film In_2S_3 photosensitive structures

Keywords: thermal vacuum evaporation, thin film surface morphology, crystal structure, the band gap, the spectra of combination scattering of light-tional.

The object of study: establishing patterns of thin film microstructure and optical properties change In_2S_3 depending on conditions of their preparation.

The results and novelty: The technique of forming thin films In_2S_3 thickness of 400 ... 1500 nm by vacuum thermal evaporation followed by thermal annealing in a temperature range of 300 ... 400 ° C for 30 ... 60 min. It is found that annealing at 400 ° C for 30 min and 60-reducible in the appearance of the films in the tetragonal and cubic phases. surface morphology studies showed that the grain size of the thin-film Expand INDICATES from 50 to 75 nm with increasing annealing temperature and time. We define the nature of the county-optical transitions in In_2S_3 films, depending on the reception mode. It calculated the band gap, which amounted to 1.47 ... 2.70 eV.

Use level: results are implemented in the educational process at the department of design infor-mation and computer systems educational institution " Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics" in training "transducers and their use in safety systems" and "Sensors of electronic security systems.

Scope: physics and technology of thin films, thin film devices semiconductors, optoelectronics-quark, operating in the visible and near infrared region of the spectrum-about.