

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

На правах рукописи

УДК 621.3.084.872-026.741

НИКОЛАЕНКО
Ольга Сергеевна

СИНТЕЗ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СЛОЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание степени
магистра технических наук

по специальности 1–38 80 04 Технология приборостроения

Научный руководитель
канд. техн. наук, доцент
Цырельчук Игорь Николаевич

Минск 2016

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

Научный руководитель:

Цырельчук Игорь Николаевич,

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент:

Полубок Владислав Анатольевич,

кандидат технических наук, заведующий кафедрой микропроцессорных систем и сетей учреждения образования «Институт информационных технологий БГУИР»

Защита диссертации состоится «20» января 2016 г. года в 11⁴⁰ 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, ауд. 415-1 корп., тел.: 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by.

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

ВВЕДЕНИЕ

Основным материалом для изготовления СЭ в настоящее время является кристаллический кремний. Главным недостатком такого материал является относительно невысокий коэффициент поглощения, что приводит к необходимости обеспечения толщины такого материала в сотни микрон. Из-за указанного недостатка, а также в силу хорошей изученности производства кристаллического кремния не удастся снизить стоимость одного ватта. Для получения дешевых СЭ экономически рентабельным, в настоящее время, является производство электроэнергии с помощью тонкопленочных фотопреобразователей.

Среди новых перспективных полупроводниковых материалов, пригодных для создания на их основе эффективных фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии, следует выделить полупроводниковое соединение с структурой халькопирита $CuInSe_2$, имеющее ширину запрещенной зоны $E_g=1,04$ эВ при температуре $T=300$ К и большой коэффициент оптического поглощения $\alpha\sim 10^5$ см⁻¹. Для оптимального фотопреобразования в наземных условиях ширина запрещенной зоны E_g поглощающего слоя солнечного элемента должна составлять 1,3...1,5 эВ, что значительно выше соответствующего значения для $CuInSe_2$, равного 1,04 эВ. Этим обстоятельством обусловлена активизация исследований по созданию на основе $CuInSe_2$ материала со значением E_g близким к оптимальному. По сравнению с $CuInSe_2$ его аналог $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$ (CIZS) позволяет получать материал с шириной запрещенной зоны, меняющейся от 1,04 эВ ($x=1$) до 2,67 эВ ($x=0$). Это предполагает возможное использование CIZS в тонкопленочных солнечных элементах как в качестве оптически активного слоя, так и в качестве широкозонного окна. Дополнительным, и вероятно основным, преимуществом использования CIZS – материала является снижение стоимости производства солнечных элементов на основе поликристаллических пленок $CuInSe_2$ за счет частичного замещения дорогостоящего индия на цинк.

На настоящий момент существует достаточно большое число специалистов занимающихся вопросом замещения дорогостоящего материала используемого при изготовлении солнечных элементов на более дешевый. Наиболее значимые результаты были получены следующими авторами: Андреев В.М., Гременок В.Ф., Медведкин Г.А., Палатник Л.С., *Abrahams S.C., Shay J.L., Jaffe J.E., Thwaites M.J., Yamamoto N., Yang L.C.* и другие. В работах данных авторов представлены различные типы солнечных элементов на основе полупроводниковых материалов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Основными проблемами, при изготовлении фотоэлектрических преобразователей, являются относительно невысокий коэффициент поглощения и высокая стоимость производства. Для решения этих проблем разрабатываются новые перспективные материалы. Одним из таких материалов является $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$ изготовленный методом двухстадийной селенизации.

Степень разработанности проблемы

В последнее время активно исследуются тройные полупроводниковые соединения $A^I B^{III} C^{VI}_2$. Указанные соединения используются в качестве поглощающего слоя при создании высокоэффективных радиационно-стойких СЭ. Из указанного класса соединений значительный интерес представляет соединение *CIZS*.

Вместе с тем широкому практическому применению этих материалов на сегодняшний день препятствуют технологические трудности получения структурно-совершенных пленок *CIZS*, а также отсутствие полной информации об их физических свойствах.

Цели и задачи исследования.

Целью диссертационной работы являются: синтез тонких пленок твердых растворов $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$ методом двухстадийной селенизации, исследование их оптических, электрических и фотолюминесцентных свойств.

Для достижения поставленной цели работа проводилась в несколько этапов, на каждом из которых решались **следующие задачи**:

1. Анализ микроструктуры, свойств и методов получения тонких пленок $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$ и солнечных элементов на их основе.
2. Определение оптимальных режимов и методов получения тонких пленок $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$.
3. Исследование оптические, электрические и фотолюминесцентные свойства тонких пленок $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$.

Объектом исследования являются тонкие пленки твердых растворов $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$.

Предметом работы выступают физико-химические и физические свойства тонких пленок.

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

В основу диссертации легли результаты известных исследований российских, белорусских и зарубежных специалистов в области полу-

проводникового приборостроения и тонкопленочной электроники.

Для получения теоретических результатов исследования применялся междисциплинарный подход, позволяющий использовать теоретические положения физики твердого тела.

Обработка графических данных проводилась с использованием *MSExcels*.

Информационная база исследования включает в себя диаграмму состояния системы $Cu_2Se-In_2Se_3$ и $CuInSe_2-2ZnSe$, а также сведения о физических свойствах пленок твердых растворов *CIZS*.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке методики получения тонких пленок твердых растворов $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$ методом двухстадийной селенизации. Были исследованы свойства пленок: коэффициент поглощения, зависимость ширины запрещенной зоны, зависимость удельного сопротивления и термоэдс в зависимости от содержания цинка в пленках.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Получение тонких пленок сложных четверных халькопиритных медьсодержащих материалов методом двухстадийной селенизации. Анализ микроструктуры и свойств тонких пленок $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$ и солнечных элементов на их основе.

2. Сравнение спектров фотопроводимости полученных пленок без цинка ($CuInSe_2$) и пленок с различной концентрацией атомов цинка.

3. Физико-химические параметры выращенных тонких пленок твердых растворов $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в ней на основании теоретического рассмотрения метода получения тонких пленок твердых растворов $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$ методом двухстадийной селенизации, было проведено сравнение спектров фотопроводимости полученных пленок без цинка ($CuInSe_2$) и пленок с различной концентрацией атомов цинка, а также установлены физико-химические параметры выращенных тонких пленок.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что полученные результаты позволят выработать новые требования к методам получения тонких пленок твердых растворов $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$, определить оптимальные режимы осаждения для получения слоев с высоким структурным совершенством, малым содержанием дефектов и высоким коэффициентом оптического поглощения в спектральной области 1,0...3,0 эВ.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследования были представлены на 51-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, Беларусь 13 – 17 апреля 2015 г.); V Международной заочной научно-технической конференции «Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации» (Тольятти, Российская Федерация, апрель 2014 г.); III Международной

заочной научно-практической конференции «Информационные системы и технологии: управление и безопасность» (Тольятти, Российская Федерация, 30 апреля 2015 г.); Международной научно-практической конференции «Инженерно-педагогическое образование: проблемы и пути развития» (Минск, Республика Беларусь, 14–15 мая 2015 г.); Международной заочной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» (Воронеж, Российская Федерация, 9–12 ноября 2015 г.).

Отдельные положения диссертации могут быть использованы при преподавании курса «Электронные системы на возобновляемых источниках энергии».

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в шести опубликованных работах общим объемом 18 страниц.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 94 страниц. Работа содержит 1 таблицу, 54 рисунка. Библиографический список включает 148 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние основных материалов для изготовления СЭ, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** проведен анализ микроструктуры, свойств, методов получения тонких пленок $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$ и солнечных элементов на их основе.

Рассмотрена кристаллическая структура тонких пленок. Приведена структура тройных полупроводниковых соединений $A^I B^{III} C^{VI}_2$, которые кристаллизуются в структуре халькопирита.

Изучены диаграммы состояния $Cu_2Se-In_2Se_3$, $CuInSe_2-2ZnSe$.

Описаны методы получения тонких пленок сложных четверных халькопиритных медь-содержащих материалов. Все методы могут быть разделены на четыре группы: физическое осаждение из газовой фазы (*PVD*), химическое осаждение из газовой фазы (*CVD*), осаждение из растворов (*SGD*) и электрохимическое осаждение (*ECD*).

Рассмотрена классификация, основные параметры и характеристик солнечных элементов. Для описания солнечных элементов применяется набор

специальных параметров и характеристик, позволяющий производить сравнительную оценку солнечных элементов различного типа. К специальным характеристикам солнечного элемента относятся вольтамперная (ВАХ) и спектральная. К специальным параметрам солнечного элемента относятся КПД (эффективность), ff (фактор заполнения), U_{OC} (напряжение холостого хода), I_{SC} (ток короткого замыкания) или J_{SC} (плотность тока короткого замыкания).

Изучены фотопреобразователи на основе кремния и полупроводниковых соединений.

Монокристаллические кремниевые солнечные элементы (*c-Si* СЭ) изготавливаются из кремниевых пластин 0,3 мм (300 мкм) толщины путем их легирования соответственно донорными и акцепторными примесями, создания омических контактов (сплошного тыльного и решеточного лицевого) и текстурирования (направленного химического травления поверхности) для придания антиотражающих свойств. Существуют несколько типов конструкции монокристаллических и тонкопленочных СЭ, отличающиеся способом формирования, структурой и расположением контактов.

Тонкопленочные солнечные элементы на основе аморфного кремния. Аморфные солнечные элементы используют в качестве поглощающего слоя аморфные вещества, обладающие только ближней упорядоченностью структуры. Идеальным аморфным материалом для использования в качестве поглотителя является *a-Si* (аморфный кремний). Значение его запрещенной зоны может быть изменено путем введения примеси водорода (гидрогенизации). Аморфный кремний, легированный водородом (*a-Si:H*), является основой аморфных солнечных элементов. Иногда помимо водорода в поглощающем аморфном слое используются также добавки германия (*a-SiGe:H*).

$A^{III}B^V$ полупроводниковые соединения обладают почти идеальными характеристиками для фотовольтаического преобразования солнечного света. Единственным ограничением для их широкомасштабного применения в качестве поглощающих материалов в солнечных элементах является высокая себестоимость. На основе этого класса материалов формируются как однопереходные, так и многопереходные солнечные элементы (рисунок 6).

Солнечные элементы на основе $A^{III}B^V$ полупроводников имеют толщину до 210 мкм, что существенно увеличивает расход материала по сравнению с тонкопленочными солнечными элементами. Для компенсации повышенной себестоимости стремятся максимально увеличить КПД этих солнечных элементов. Тем не менее, несмотря на достаточно высокий КПД, $A^{III}B^V$ солнечные элементы не нашли широкого применения в наземных условиях, так как они не выдерживают конкуренции с кристаллическими и аморфными кремниевыми солнечными элементами из-за высокой цены.

CdTe может быть использован в виде тонких пленок, достаточных для интенсивного поглощения света. Наилучшими с точки зрения дальнейшего использования и усовершенствования оказались *n-CdS/p-CdTe* солнечные элементы (рисунок 7).

CdTe СЭ являются достаточно перспективными с широкими возможностями для усовершенствования и оптимизации технологии производства и, следовательно, для снижения себестоимости. Однако в производстве *CdTe* СЭ задействованы *Cd* и *Te*, являющиеся редкоземельными элементами с сильными токсичными свойствами, что до некоторой степени задерживает широкое внедрение *CdTe* солнечных элементов. При выборе *CdTe* в качестве поглощающего материала для фотовольтаического преобразования света сразу возникает проблема дальнейшей утилизации солнечных элементов, отработавших свой срок. Последнее приводит к увеличению себестоимости *CdTe* солнечных элементов и ограничению их широкого использования для преобразования света.

Многокомпонентные полупроводниковые соединения со структурой халькопирита вызывают особый интерес с точки зрения их использования в качестве поглощающего слоя в солнечных элементах. Это обусловлено следующими причинами:

1) Ширина запрещенной зоны твердых растворов $Cu(In,Zn)(S,Se)_2$ изменяется в диапазоне 1,0...2,4 эВ и может быть идеально согласована с оптимальным значением для фотопреобразователей солнечной энергии (1,2...1,6 эВ).

2) Чрезвычайно высокие значения показателя поглощения света при сопоставлении со всеми известными полупроводниками, поэтому толщина формируемых структур может составлять 3...5 мкм.

3) Пленки $CuInSe_2$ и $Cu(In,Zn)Se_2$ могут быть получены различными методами на промышленном технологическом оборудовании, при этом сравнительно просто могут быть сформированы СЭ с КПД 14...17 %.

4) Высокая стабильность характеристик.

5) Низкая себестоимость.

$CuInSe_2$ солнечные элементы обладают наибольшим потенциалом для дальнейшего усовершенствования.

Во второй главе описаны способы синтеза пленок соединений $A^I B^III C_2^{VI}$ и влияние условий на микроструктурные свойства пленок.

Существенное влияние на свойства и стоимость получаемой продукции, как правило, оказывает метод получения пленок. Основной проблемой является получение высококачественной пленки поглощающего слоя с помощью достаточно простого и воспроизводимого метода. Метод, пригодный для широкомасштабного применения, должен удовлетворять экономическим, экологическим критериям и обеспечивать высокое качество материала.

Метод вакуумного осаждения представляет собой испарение вещества с помощью нагрева в вакууме и осаждение его на подложку. Вакуумное осаждение тонких пленок состоит из трех основных процессов: 1) переход вещества из конденсированной фазы в газообразную фазу; 2) перенос паров в вакууме от испарителя к подложке; 3) конденсация паров на подложке.

Метод двухэтапной селенизации включает два отдельных технологических цикла: 1 – послойное напыления элементов *Cu*, *In*, *Zn*, *Se* (либо би-

нарных соединений), 2 – их непосредственную реакцию с халькогеном (селенизацию). Основные преимущества такого подхода состоят в возможности получения слоев большой площади с однородным составом и одинаковой толщиной при послойном напылении элементов.

Выделяют селенизацию в селеноводороде или в парах селена.

Основная идея этого метода заключается в одновременном нанесении на подложку всех составных элементов соединения. Причем возможен как одностадийный, так и двухстадийный процессы, что определяется температурой подложки во время нанесения элементов.

DC-напыление $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$ осуществляется из $CuInSe_3$ и $ZnSe$ мишеней на вращающийся держатель подложек. В этом методе получение высококачественных пленок недостижимо из-за бомбардировки поверхности ионами плазмы и трудности контроля химического состава пленок. Кроме того, в технологическом цикле используется высокотоксичный H_2Se .

Метод высокочастотного распыления применяют для получения пленок на основе многокомпонентных соединений меди, позволяющие осаждать однородные пленки большой площади. Однако этот метод не позволяет получать высокоориентированные пленки с большим размером зерна и не обеспечивает воспроизводимости свойств материала.

Пригодным для получения пленок сложных полупроводников, содержащих легколетучие компоненты, является метод двухэтапной селенизации, который включает два отдельных технологических цикла: послойное напыление элементов $ZnSe/(Cu-In)$ (либо $Cu-In-Zn$); реакцию слоев $ZnSe/(Cu-In)$ галогеном (селенизацию).

В третьей главе представлены результаты оптических, электрических и фотолюминесцентных свойств тонких пленок $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$.

Для полученных пленок одним из важнейших электрических измерений является определение их удельного (ρ) и поверхностного (R_s) сопротивлений. Для этой цели удобно использовать 4-зондовый метод измерения (рисунок 1).

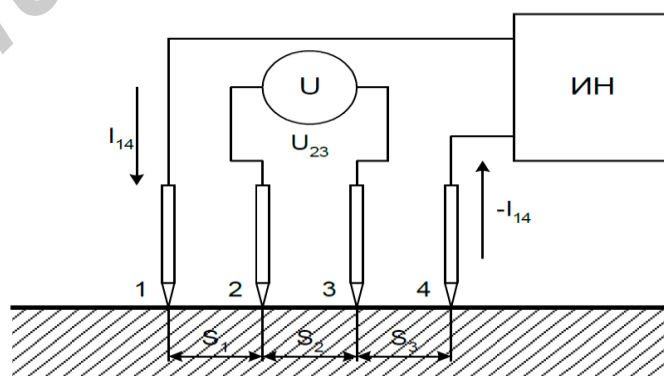


Рисунок 1 – Электрическая схема измерения удельного и поверхностного сопротивления 4-зондовым методом: ИИ – источник постоянного напряжения; U – вольтметр

Оптическая ширина запрещенной зоны пленок *CIZS* с увеличением содержания цинка смещается в длинноволновую область и для ряда исследованных образцов меняется в пределах 1,02 – 1,23 эВ, что соответствует значениям данного параметра для солнечных элементов на основе *CIGS*, производимых промышленностью. Полученные данные позволяют говорить о хорошей согласованности спектра поглощения *CIZS* пленок со спектром солнечного излучения стандарта АМ 1.5 (1000 Вт/м²).

В области температур 80 – 160 К электропроводность слабо зависела от температуры и только при температуре, большей 170 К электропроводность начинала сильно увеличиваться. Рассчитанные значения энергий активации для исследованных пленок позволили сделать вывод, что дефекты типа Zn_{Cu} образуют в запрещенной зоне донорные энергетические уровни с энергией активации

$\Delta E_a = 0,18$ эВ, а дефекты типа Zn_{In} образуют акцепторные уровни с энергией активации $\Delta E_a = 0,23$ эВ.

Если сопоставить результаты исследований электропроводности и оптических свойств, можно сделать вывод, что введение в базовую пленку $CuInSe_2$ атомов цинка приводит с одной стороны к смещению ширины запрещенной зоны в коротковолновую спектральную область, а с другой стороны, к образованию собственных дефектов замещения типа атом цинка на месте атома меди (Zn_{Cu}) и атом цинка на месте атома индия (Zn_{In}), которые проявляются в спектрах фотолюминесценции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При работе над магистерской диссертацией были тщательно изучены, рассмотрены и учтены все мировые тенденции в сфере развития солнечных элементов на основе полупроводниковых материалов.

На первом этапе выполнения данной работы был проведен обзор научной литературы и проанализированы микроструктура, свойства, методы получения тонких пленок $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$ и солнечные элементы на их основе. При рассмотрении данного вопроса были изучены: кристаллическая структура тонких пленок; диаграммы состояния $Cu_2Se-In_2Se_3$, $CuInSe_2-2ZnSe$; методы получения тонких пленок сложных четверных халькопиритных медьсодержащих материалов; классификация солнечных элементов; основные параметры и характеристики солнечных элементов и модулей; фотопреобразователи на основе кремния; фотопреобразователи на основе полупроводниковых соединений.

На втором этапе выполнения данной работы был проведен синтез тонких пленок $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$. На данном этапе была разработана методика получения тонких пленок твердых растворов $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$, основанная на использовании метода двухстадийной селенизации слоев $ZnSe/(Cu-In)$. Определены оптимальные условия синтеза тонких пленок методом двухстадийной селенизации (первая стадия 240...260 °С в течение 20...30 минут, вторая стадия – при температурах 460...540°С в течение 15...50 минут).

На полученных пленках исследованы коэффициент оптического поглощения в области края фундаментального поглощения ($\alpha > 10^4 \text{ см}^{-1}$). По спектрам пропускания установлена зависимость ширины запрещенной зоны в зависимости от содержания цинка в пленках (1,02...1,23 эВ), зависимости удельного сопротивления и термоэдс от содержания цинка.

Список опубликованных работ

[1-А] Николаенко, О.С. Пути повышения КПД солнечных элементов / И.Н. Цырельчук, В.Л. Николаенко, О.С. Николаенко // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2015) : сб. статей V международной заочной научно-технической конференции. Ч. 2 / Поволжский гос. ун-т сервиса. – Тольятти: Изд-во: ПВГУС, 2015. – С. 119 – 122.

[2-А] Николаенко, О.С. Использование компьютерных систем для моделирования солнечных элементов / И.Н. Цырельчук, О.С. Николаенко // Информационные системы и технологии: управление и безопасность : сб. ст. III международной заочной научно-практической конференции / Поволжский гос. ун-т сервиса. – Тольятти : Изд-во ПВГУС, 2014. – С. 204 – 208.

[3-А] Николаенко, О.С. Поликристаллический слой солнечных элементов / В.Л. Николаенко, О.С. Николаенко // Инженерно-педагогическое образование: проблемы и пути развития : материалы по итогам работы МНПК (Минск, 14 –15 мая 2015 г.) – Минск: МГВРК, 2015. – С. 169 – 170.

[4-А] Николаенко О.С. Варианты моделирования солнечных элементов / О.С. Николаенко, В.Л. Николаенко, И.Н. Цырельчук // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сб. научных трудов международной заочной научно-практической конференции (9 – 12 ноября 2015 года, Воронеж № 7 часть 2) – Воронеж: УОП ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2015. – С. 292 – 295.

[5-А] Николаенко О.С. Фотопреобразователи на основе кремния / И.Н. Цырельчук, О.С. Николаенко // Компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: сб. статей 51-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, 13 апреля 2015 года) – Минск: БГУИР, 2015. – С. 241 – 243.

[6-А] Николаенко О.С. Тонкие пленки солнечных элементов / И.Н. Цырельчук, О.С. Николаенко // Компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: сб. статей 51-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, 13 апреля 2015 года) – Минск: БГУИР, 2015. – С. 243 – 246.

РЭЗІЮМЭ

Нікалаенка Вольга Сяргееўна

Сінтэз цвёрдых раствораў складаных злучэнняў

Ключавыя словы: сонечны элемент, тонкія плёнкi цвёрдых раствораў $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$, сінтэз.

Мэта працы: сінтэз тонкіх плёнак цвёрдых раствораў $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$ метадам двухстадыйнай селенізацiі, даследаванне іх аптычных, электрычных і фотолюмінесцэнтных уласцівасцяў.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: праведзены сінтэз тонкіх плёнак $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$. Была распрацавана метадыка атрымання тонкіх плёнак цвёрдых раствораў $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$, заснаваная на выкарыстанні метаду двухстадыйнай селенізацiі слаёў $ZnSe/(Cu-In)$. Вызначаны аптымальныя ўмовы сінтэзу тонкіх плёнак метадам двухстадыйнай селенізацiі (першая стадыя 240...260 ° С на працягу 20...30 хвілін, другая стадыя - пры тэмпературах 460...540 ° С на працягу 15...50 хвілін).

На атрыманых плёнках даследавання каэфіцыент аптычнага паглынання ў галіне краю фундаментальнага паглынання ($\alpha > 10^4 \text{ см}^{-1}$). Па спектрах прапускання ўсталяваная залежнасць шырыні забароненай зоны ў залежнасці ад утрымання цынку ў стужках (1,02...1,23 эВ), залежнасці ўдзельнай супраціву і тэрмаэдс ад утрымання цынку.

Ступень выкарыстання: вынікі могуць быць выкарыстаны пры выкладанні курсу «Электронныя сістэмы на аднаўляльных крыніцах энергіі».

Вобласць ужывання: паўправадніковае прыборабудаванне, тонкаплёнкавая электроніка.

РЕЗЮМЕ

Николаенко Ольга Сергеевна

Синтез твердых растворов сложных соединений

Ключевые слова: солнечный элемент, тонких пленок твердых растворов $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$, синтез.

Цель работы: синтез тонких пленок твердых растворов $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$ методом двухстадийной селенизации, исследование их оптических, электрических и фотолюминесцентных свойств.

Полученные результаты и их новизна: проведен синтез тонких пленок $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$. Была разработана методика получения тонких пленок твердых растворов $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$, основанная на использовании метода двухстадийной селенизации слоев $ZnSe/(Cu-In)$. Определены оптимальные условия синтеза тонких пленок методом двухстадийной селенизации (первая стадия 240...260 °С в течение 20...30 минут, вторая стадия – при температурах 460...540°С в течение 15...50 минут).

На полученных пленках исследованы коэффициент оптического поглощения в области края фундаментального поглощения ($\alpha > 10^4 \text{ см}^{-1}$). По спектрам пропускания установлена зависимость ширины запрещенной зоны в зависимости от содержания цинка в пленках (1,02...1,23 эВ), зависимости удельного сопротивления и термоэдс от содержания цинка.

Степень использования: результаты могут быть использованы при преподавании курса «Электронные системы на возобновляемых источниках энергии».

Область применения: полупроводниковое приборостроение, тонкопленочная электроника.

SUMMARY

Nikolaenko Olga Sergeevna

Synthesis of solid solutions of complex compounds

Keywords: solar cells, thin films of solid solutions $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$, synthesis.

The object of study: synthesis of thin films of solid solutions $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$ selenization by a two-stage study of their optical, electrical and photoluminescent properties.

The results and novelty: The synthesis of thin films $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$. It developed a method of producing thin films of solid solutions $(CuIn)_{1-x}Zn_{2x}Se_2$, based on the method of two-stage selenization layers of $ZnSe/(Cu-In)$. The optimal conditions for the synthesis of thin films by selenization two stage (first stage 240...260 °C for 20...30 minutes, the second stage 460...540 °C for 15...50 minutes).

Upon receipt of the films studied the optical absorption coefficient in the region of the fundamental absorption edge ($\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1}$). Transmission spectra, the dependence of the band gap depending on the zinc content in the films (1.02...1.23 eV), depending on the resistivity and thermopower of the zinc content.

Degree of use: results can be used in teaching the course «Electronic systems for renewable energy».

Sphere of application: semiconductor devices, thin-film electronics.