

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

УДК621.315.61; 315.616.97

Чекмарёв
Евгений Андреевич

Технология изготовления фотоэлектрических преобразователей с
использованием наноструктурированных оснований

АВТОРЕФЕРАТ

по специальности 1-41 80 03
«Нанотехнологии и наноматериалы (в электронике)»

Научный руководитель
канд.техн.наук, доцент
Уткина Елена Апполинарьевна

Минск 2016

Работа выполнена на кафедре микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Уткина Елена Апполинарьевна**,
кандидат технических наук, доцент кафедры микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **Хмыль Александр Александрович**,
доктор технических наук, профессор кафедры электронной техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «19» января 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. 114, тел.: 293-89-26, e-mail: kafei@bsuir.by.

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

ВВЕДЕНИЕ

Солнце – это неиссякаемый, безопасный источник энергии, в равной степени всем принадлежащий и всем доступный. Ставка на солнечную энергетику должна рассматриваться не только как беспроигрышный, но в долговременной перспективе и как безальтернативный выбор.

В то же время, стоимость электроэнергии, получаемой от солнечных батарей в настоящее время, пока ещё выше стоимости электроэнергии других источников энергии. За последние годы достигнут большой прогресс в области снижения цен на солнечные элементы, что стимулировало чрезвычайно большой спрос на рынке фотовольтаики (свыше 30 % в год до 2007г и 50 - 100 % в год за 2007-2010гг.) и прогнозируется его дальнейший экспоненциальный рост [1,2].

Анализ тенденций научных исследований показывает, что основными направлениями, на которых сосредоточены усилия разработчиков являются:

- совершенствование технологии и оборудования для массового производства СЭ на основе монокристаллических материалов, в основном кремния и соединений A^3B^5 , удешевления сырья, его вторичного использования и т. п.

- поиск новых принципов повышения эффективности СЭ за счет максимального использования спектра солнечного излучения по сравнению с монокристаллическими полупроводниками [3].

- применение для наземных условий концентраторных систем совместно с различными видами фотоэлектрических преобразователей. Такие концентраторы позволяют дополнительно повысить к.п.д. СЭ на 5÷10 %, резко снижают потребность в дорогостоящих полупроводниковых материалах и, соответственно, снижается стоимость всей системы сбора и преобразования излучения в электричество.

- разработка принципиально новых технологий создания фотоэлектрических преобразователей на дешевых подложках, дешевыми методами, например с использованием новых видов тонкопленочных полупроводниковых соединений на основе Si, Ge, $Cu(InGa)Se_2$, $CuSnZnS$, SnS_x , ZnO, органических соединений, введения наночастиц для улучшения поглощения излучений, использование нанопрофилированных и композиционных подложек, электрохимических и химических технологий подготовки подложек и осаждения плёнок полупроводников, и т.д. [4].

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В настоящее время свыше 90 % солнечных элементов изготавливаются на основе кремния, себестоимость изготовления которого не может быть кардинально снижена из-за больших энергозатрат на его производство.

Существенное снижение цен может быть достигнуто в первую очередь за счет разработки новых конструкций фотоэлектрических преобразователей и модулей, обладающих повышенной эффективностью, малым расходом материала, высокой технологичностью при массовом производстве.

Проводятся теоретические и экспериментальные проработки конструкций фотоэлектрических преобразователей, основанных на широком использовании тонких пленок различных полупроводниковых соединений, разработке методов управления их шириной запрещенной зоны, получении этих пленок дешевыми методами, а также наноструктурированных оснований на их изготовления.

Поэтому актуальность данной работы определяется необходимостью разработки технологических процессов формирования новых полупроводниковых тонкопленочных материалов, селективных поглощающих и антиотражающих покрытий, а также подложек для фотоэлектрических преобразователей, которые позволят повысить к.п.д. преобразования солнечного излучения и уменьшить их стоимость.

Степень разработанности проблемы

Существует огромное количество работ по разработке процессов формирования регулярных пористых анодных оксидов алюминия и их использование в качестве темплат для осаждения металлов и полупроводников. Среди этих работ следует отметить исследования таких авторов, как Х.Масуда, У.Гёселе, А.П.Ли, Г.Сулка, С.Чен и др.

Исследуются также механизмы осаждения сульфидов олова и влияние параметров осаждения на их электрофизические свойства.

Одним из недостатков современных тонкопленочных фотоэлектрических преобразователей является их низкая эффективность и плохая воспроизводимость параметров. Предложенное исследование направлено на повышение эффективности и экономичности фотоэлектрических преобразователей за счет использования наноструктурированных оснований и оптимизации процессов осаждения полупроводниковых соединений на основе сульфидов олова.

Цель и задачи исследования

Целью данной работы является исследование и разработка технологических процессов формирования фотоэлектрических преобразователей с использованием наноструктурированных оснований.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы **следующие задачи**:

- провести анализ патентно-информационных источников в области электрохимических методов формирования наноструктурированных оснований для фотоэлектрических преобразователей;
- исследовать технологические режимы формирования наноструктурированных металлических оснований и композитных металл-диэлектрических оснований (слоев) на основе пористого оксида

алюминия с использованием метода анодного окисления;

- разработать технологические операции селективного осаждения полупроводниковых пленок на основе сульфида олова на нанопрофилированные основания;

- разработать топологию и изготовить фотошаблоны для формирования тестовых структур фотоэлектрических преобразователей.

- изготовить тестовые структуры фотоэлектрических преобразователей на наноструктурированных основаниях и исследовать их оптические и электрофизические характеристики.

Объектом исследования являются тонкие пленки сульфидов олова, осажденные на нанопрофилированные металлические и металл-диэлектрические подложки, для формирования тестовых фотоэлектрических преобразователей.

Предметом работы выступают факторы, определяющие технологические особенности формирования нанопрофилированных подложек на основе алюминия и его анодных оксидов, также методы осаждения полупроводниковых слоев на основе сульфидов олова.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-41 80 03 «Нанотехнологии и наноматериалы (в электронике)».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты известных исследований российских и зарубежных специалистов в области разработки технологических основ формирования тонкопленочных полупроводниковых материалов, предназначенных для создания фотоэлектрических преобразователей, а также анализ конструктивных особенностей таких устройств.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке лабораторного технологического процесса формирования фотоэлектрических преобразователей с использованием наноструктурированных оснований на основе алюминия и его анодных оксидов, а также разработке метода селективного осаждения активного полупроводникового слоя на основе сульфида олова.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Применение наноструктурированных оснований ведет к усилению рассеяния и дифракции света в приборе. В сравнении с фотоэлектрическими преобразователями на гладкой поверхности, оптическая длина поглощаемого излучения увеличивается, что непосредственно ведет к увеличению тока короткого замыкания и квантовой эффективности СЭ в красной и ИК-области оптического спектра.

2. Использование процесса электрохимического анодного окисления и анодных оксидов алюминия позволяет формировать наноструктурированные основания для фотоэлектрических преобразователей с одновременным

формированием контактных площадок и межэлементной изоляции.

3. Выбор в качестве тонкопленочных и наноструктурированных полупроводниковых материалов сульфидов олова (SnS , SnS_2) при создании фотоэлектрических преобразователей позволяет использовать недорогие и экологичные процессы их осаждения, а также в перспективе повысить эффективность создаваемых устройств.

4. Метод селективного послойного последовательного осаждения сульфида олова на наноструктурированные основания при комнатной температуре.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в ней предложен подход к анализу факторов, влияющих на эффективность работы фотоэлектрических преобразователей, позволяющий детально исследовать технологические процессы формирования новых тонкопленочных полупроводниковых материалов и наноструктурированных оснований для их изготовления.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что на основе предложенной лабораторной технологии возможно изготовление более дешевых и экономичных фотоэлектрических преобразователей.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследования были представлены на:

1. 51-й научно-технической конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, 13-17 апреля 2015 года;
2. SNEC 10th International Photovoltaic Power Generation Conference, 23-25 May, 2016, Shanghai, China;
3. EU PVSEC 2016, 32nd European PV Solar Energy Conf. Ad Exhibition, 20-24 June 2016, Munich, Germany.

Отдельные положения диссертации, в частности подход к классификации и основам функционирования фотоэлектрических преобразователей нового поколения используются при преподавании курса «Материалы электронной техники и технология их получения».

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в шести опубликованных работах общим объемом 1,0 п.л.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения и библиографического списка.

Общий объем магистерской диссертации составляет 54 страницы, включая 21 иллюстрацию, 2 таблицы, библиографический список из 37 наименований, 10 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы повышения эффективности фотоэлектрических преобразователей, отражены основные направления исследований в этой области, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассматриваются конструктивные и технологические особенности формирования фотоэлектрических преобразователей. Дается анализ используемых полупроводниковых материалов для создания р-n-переходов, а также методов их получения. Приводится сравнительная оценка существующих методов формирования тонкопленочных полупроводников их преимущества и недостатки. На основании проведенного анализа дается обоснование выбора материалов и технологии их получения.

Во **второй главе** приведены результаты исследований и разработки технологических процессов формирования наноструктурированных оснований для фотоэлектрических преобразователей, а также полупроводниковых слоев на основе сульфидов олова.

В **третьей главе** представлены результаты разработки топологии фотоэлектрических преобразователей и лабораторный технологических процесс их формирования. Дана краткая оценка свойств тестовых структур фотоэлектрических преобразователей структуры Al/SnS₂-SnS/Al Al/пористыйAl₂O₃/SnS₂/SnS/Al.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ публикаций в области электрохимических методов формирования полупроводниковых плёнок на основе сульфида олова на нанопрофилированных подложках и их использования для изготовления фотоэлектрических преобразователей. Анализ показал, что в настоящее время в мире уже начаты теоретические и экспериментальные проработки конструкций, основанных на широком использовании тонких пленок различных полупроводниковых соединений, разработке методов управления их шириной запрещенной зоны, получении этих пленок дешевыми методами.

2. Установлено, что введение нанотекстурированных поверхностей ведет к усилению рассеяния и дифракции света в приборе. В сравнении с фотоэлектрическими преобразователями на гладкой поверхности, оптическая длина поглощаемого излучения увеличивается, что непосредственно ведет к

увеличению тока короткого замыкания и квантовой эффективности СЭ в красной и ИК-области оптического спектра.

3. Разработаны технологические режимы электрохимического формирования наноструктурированных металлических (Al) и композитных металл-диэлектрических подложек (Al-Al₂O₃) (слоев) для селективного осаждения полупроводниковых материалов на основе сульфидов олова .

4. Исследованы физико-химические закономерности формирования полупроводниковых пленок на основе сульфидов олова с использованием электрохимических и химических методов осаждения на нанопрофилированных металлических и композитных металл-диэлектрических подложках (слоях).

5. Разработаны топология тестовых фотоэлектрических преобразователей Al/SnS₂-SnS/Al Al/пористыйAl₂O₃/SnS₂/SnS/Al и отработаны технологические операции их формирования. Проведены исследования электрофизических параметров тестовых элементов.

6. Сформулированы рекомендации по изготовлению фотоэлектрических преобразователей с использованием электрохимических и химических методов. Использование разработанных процессов позволит удешевить технологию изготовления и улучшить эффективность получаемых устройств.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. «Технология изготовления фотоэлектрических преобразователей с использованием наноструктурированной подложки», 51-я научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, 13-17 апреля 2015 года.

2. Checkmaryov, E.A. SnS_x layers preparing for novel solar nano-cells /E.A. Checkmaryov, E.A. Outkina, A.I. Vorobyova // SNEC 10th International Photovoltaic Power Generation Conference, 23-25 May, 2016, Shanghai, China

3. Outkina, E.A. Tin sulfide layers deposition onto nanostructured anodic alumina substrate for novel solar cells / E.A. Outkina, M.V. Meledina, A.A.Khodin, E.A. Checkmaryov // EU PVSEC 2016, 32nd European PV Solar Energy Conf. Ad Exhibition, 20-24 June 2016, Munich, Germany