

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

УДК 539.216:546.824-31

Брылева
Ольга Александровна

Фотоэлектрическая эффективность наноструктур из диоксида титана

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 01 “ Твердотельная электроника,
радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника,
приборы на квантовых эффектах ”

Научный руководитель
Борисенко Виктор Евгеньевич

доктор физико-математических
наук, профессор

Минск 2016

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие оксидный полупроводник – диоксид титана (TiO_2), является одним из основных объектов пристального внимания исследователей благодаря своим уникальными, оптическим и электрическим свойствам. Высокая химическая инертность и низкая стоимость позволяют использовать этот материал в дешевых солнечных элементах. Однако невысокая квантовая эффективность и ограниченный ультрафиолетовой областью спектр поглощения излучения стимулируют поиск путей преодоления этих ограничений. Перспективным в данном направлении является использование наноструктурированного диоксида титана и его сенсбилизация соединениями с расширенным спектральным диапазоном поглощения света.

Предварительное математическое моделирование основных параметров солнечного элемента является потенциально значимым и позволяет определить оптимальные условия синтеза наноструктурированного диоксида титана, а также размеры и морфологию частиц, для которых наблюдается наибольший фотогальванический эффект. Для этого необходимы физически корректные модели, включающие влияние параметров наноструктурированного материала. Такие модели строятся, как правило, для солнечного элемента и базируются на его вольтамперной характеристике.

В настоящее время в специализированной литературе и публикациях по анализу характеристик материалов нанoeлектроники большое внимание уделяется методам моделирования параметров исследуемых структур. Но поскольку структура солнечных элементов является довольно сложной, возникает необходимость в детализированных физико-математических моделях, связывающих параметры материала солнечного элемента с фотоэлектрическим поведением элемента в целом. Моделирование основных параметров солнечного элемента на основе наноструктурированного диоксида титана является актуальной задачей в силу недостаточного количества имеющейся информации по данной проблематике.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования. Целью проведенного исследования является выбор модели и расчет эффективности сенсibilизированных красителем солнечных элементов на основе наноструктурированного диоксида титана с учетом совместного влияния размера наночастиц, пористости и толщины пленки из этого материала.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Провести анализ состояния исследований диоксида титана как материала для солнечной энергетики и выделить наиболее перспективные пути повышения его эффективности.

2. Выбрать модель и разработать методику моделирования солнечного элемента на основе наноструктурированного диоксида титана, в которой учитываются размер наночастиц, пористость и толщина пленки из этого материала.

3. Провести расчет вольтамперных характеристик и эффективности солнечного элемента на наноструктурированном диоксиде титана и определить оптимальное сочетание размера наночастиц, пористости и толщины пленки из этого материала.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является солнечный элемент на основе наноструктурированного диоксида титана. Предметом исследования являются закономерности влияния размера наночастиц, пористости и толщины пленки из диоксида титана на эффективность солнечного элемента на его основе.

В процессе выполнения диссертационного исследования магистрант лично провел анализ состояния исследований диоксида титана как материала для солнечной энергетики, осуществил выбор модели, наиболее полно удовлетворяющей поставленной задаче, провел расчеты и обобщил их результаты в практических рекомендациях. По результатам проведенных исследований им сделаны доклады на 52-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, 2016) и на XXIV Международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Физика конденсированного состояния» (Гродно, 2016) с публикацией соответствующих материалов. Статья «Фотоэлектрическая эффективность наноструктур из диоксида титана» готовится к публикации в журнале Доклады БГУИР.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ:

- Моделирование эффективности сенсibilизированных красителем солнечных элементов на основе наноструктурированного диоксида титана требует совместного учета влияния размера наночастиц, пористости и толщины пленки из этого материала, что позволяет прогнозировать их эффективность с заданной точностью.
- Эффективность поглощения солнечного излучения сенсibilизированной наноструктурированной пористой пленкой диоксида титана возрастает с ростом толщины пленки, при условии, что она не превышает диффузионную длину пробега электронов в ней, и убывает с увеличением диаметра наночастиц и пористости пленки и достигает максимума, соответствующего 99 % при толщине пленки 12 мкм, размере наночастиц 15 нм и пористости 0,55.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Сенсибилизированные красителем солнечные элементы (СКСЭ) на основе диоксида титана (TiO_2) рассматриваются в качестве многообещающих возобновляемых источников энергии, из-за их потенциально недорогой технологии изготовления по сравнению с солнечными элементами на основе твердотельного *p-n*-перехода. Выбрана и проанализирована модель СКСЭ на основе TiO_2 , позволяющая построить стационарную вольт-амперную характеристику солнечного элемента, а также определить его фотоэлектрическую эффективность в зависимости от таких параметров, как размер наночастиц, пористость и толщина пленки TiO_2 .

Моделируемый СКСЭ включает фотоэлектрод из однородной наноструктурированной пористой пленки TiO_2 , на поверхность которой нанесены поглощающие солнечное излучение молекулы красителя-сенсибилизатора. В основе расчета используется закон Бугера-Ламберта-Бера, отписывающий поглощение излучения веществом молекулярного состава. Основными характеристиками сенсибилизированной красителем пленки TiO_2 , используемыми при моделировании, являются: размер наночастиц, которые после спекания формируют нанопористую структуру, пористость пленки TiO_2 , молярный коэффициент поглощения красителя – эозина и площадь, занимаемая молекулой красителя на поверхности TiO_2 . Для оценки эффективности поглощения излучения СКСЭ использовали наименьшее значение десятичного молярного коэффициента поглощения эозина, полученное для области 450-550 нм. В расчетах рассматривали поглощение в практически важном диапазоне от 80 % до 100 %. Численное моделирование осуществляли в среде Matlab.

Выявлено соответствие характеристик, сенсибилизированных красителем солнечных элементов на основе TiO_2 , характеристикам, представленным в ряде экспериментальных работ. Тем самым подтверждена адекватность выбранной модели и ее параметров. Установлены оптимальные значения конструктивно-топологических параметров для сенсибилизированной пленки TiO_2 . Предпочтительными считаются размер наночастиц 10–30 нм, толщина пленки TiO_2 порядка 10–12 мкм. Показано, что плотная (не пористая) пленка TiO_2 независимо от толщины способна поглощать незначительное количество падающего излучения, в отличие от пористой сенсибилизированной красителем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Преобразование энергии является одним из главных направлений развития науки и техники, в которых ожидается значительный экономический эффект от внедрения нанотехнологий. Пока нанотехнологии слабо используются в производстве солнечных элементов, однако очевидна тенденция роста интереса к наноструктурам для производства солнечных элементов. Создание сенсibilизированных красителем солнечных элементов на основе нанопористого диоксида титана является ярким примером внедрения нанотехнологических разработок, заключающиеся в использовании наночастиц для увеличения рабочей поверхности пленки TiO_2 , что способствует значительному увеличению эффективности преобразования солнечного излучения. Результаты проведенного моделирования показывают:

1. Модель солнечного элемента, учитывающая влияние толщины пленки, пористости и размера частиц TiO_2 , позволяет установить взаимосвязь геометрических характеристик наноструктур диоксида титана с эффективностью поглощения им солнечного излучения.
2. Оптимальными параметрами солнечного элемента на основе диоксида титана, сенсibilизированного красителем, являются: толщина пленки $H=12$ мкм, пористость $p=0,55$, размер частиц $d=15$ нм.
3. Проведенное математическое моделирование позволяет определить условия формирования наноструктурированного диоксида титана, обеспечивающие создание солнечных элементов на его основе с максимальной эффективностью преобразования энергии.

Цель и задачи диссертационного исследования выполнены.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1] Брылева, О. А. Фотоэлектрические свойства наноструктурированного диоксида титана // Международная научно-практическая конференция, аспирантов, магистрантов и студентов «Физика конденсированного состояния» (Гродно, 21 апреля 2016 года): материалы конференции. – Гродно: ГрГУ, 2016, с. 28-29.

[2] Брылева, О. А. Фотоэлектрическая эффективность наноструктур из диоксида титана // Доклад на 52-ой конференции студентов, магистрантов, аспирантов БГУИР (Минск, БГУИР, май 2016).

Библиотека БГУИР