

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

УДК 658.5.012.1

Федосенко
Владимир Сергеевич

Формирование и исследование наноструктурированных
фотоактивируемых пленок системы Vi-Ti

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности

1-48 80 03 Нанотехнологии и наноматериалы

Научный руководитель

Горох Геннадий Георгиевич

Кандидат технических наук

Минск 2022

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

Научный руководитель:

Горох Геннадий Георгиевич,
Кандидат технических наук, заведующий
НИЛ 4.10 «Нанотехнологии»

Рецензент:

Прищепа Сергей Леонидович,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры защиты информации
учреждения образования «Белорусский
государственный экономический
университет»

Защита диссертации состоится «27» января 2022 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. 112, тел.: 293-89-26, e-mail: kafme@bsuir.by.

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

ВВЕДЕНИЕ

В современных изделиях микро-, опто- и наноэлектроники широко используются металлооксиды на основе TiO_2 и V_2O_5 . Весьма актуальной задачей является разработка научных основ технологии изготовления перспективных матрично-пленочных структур на основе устойчивых в воздушной атмосфере оксидов переходных металлов для фотоэлектрических микросистем. В последнее время наиболее распространенным направлением синтеза композитных материалов является формирование многокомпонентных соединений, которые в зависимости от своего состава могут проявлять различные свойства. Среди областей, где наиболее широко используются композитные пленки, на сегодняшний день можно выделить области газовой сенсорики и фотовольтаики. Данные микросистемы будут включать диэлектрическую или кремниевую подложку, в том числе упорядоченные пористые оксидные матрицы с заданным характером и размерами элементов структуры, и функциональные пленочные или сегментные элементы на основе полупроводниковых оксидов переходных металлов.

Особое место среди методов синтеза многокомпонентных пленок занимают методы послойного синтеза, в частности, метод ионного наслаивания. Данный метод является одним из наиболее перспективных химических методов формирования тонких пленок различного состава. В его основе лежит циклическая обработка подложек в ион-содержащих растворах солей металлов, в результате которой на поверхности подложки происходит осаждение и взаимодействие катионов и анионов с образованием труднорастворимого соединения. Синтез композитных пленок методом ионного наслаивания в матрицах различной морфологии открывает широкие перспективы для формирования наноструктур различной морфологии, способных приобретать свойства, отличные от свойств типичных для неструктурированных материалов.

Среди материалов, используемых в качестве шаблонов для формирования наноструктур, выделяют анодный оксид алюминия (АОА), представляющий собой систему гексагональных упорядоченных ячеек с порой в центре. Благодаря самоупорядоченной структуре и возможности управлять морфологическими параметрами в широких пределах (поры – от 10 до 400 нм, оксидные ячейки – от 50 до 600 нм), АОА может использоваться для формирования ряда наноструктур, таких как наноточки, нанопровода, нанотрубки, наностолбики, нанослои.

Исследование особенностей и механизмов ионного наслаивания нанокompозитных пленок на матрицы АОА представляет большой интерес и открывает возможности формирования наноструктурированных пленок, обладающих большой площадью активной поверхности, свойства которых будут зависеть от морфологии и состава структур.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью работы является разработка и комплексное исследование фотовольтаических и фоточувствительных матричных покрытий на основе островково-сетчатых (Ti/TiO_2) и оксидно-диэлектрических (Al/Al_2O_3) наносистем, модифицированных оксидом висмута с использованием ионного наслаивания.

Реализация поставленной цели требовала последовательного решения технологически связанных задач, выполнение которых позволило разработать технологические процессы создания функциональных гетероструктур для эффективных солнечных элементов и чувствительных фоторезисторов. В частности, в исследовании решаются следующие задачи: разработана физико-химическая модель формирования разнорельефных пленок анодного оксида алюминия и заполнения их оксидными пленками разной толщины; оптимизированы режимы формирования геометрически упорядоченных металлоксидных островковых систем и диэлектрических нанопористых матриц на основе оксидов Al и Ti в условиях анодной поляризации с целью обеспечения заданной топологии темплейтов. Модификация диэлектрических оксидных матриц оксидом висмута с использованием процесса ионного осаждения соответствующих компонентов, а также изучение влияния химической природы активных сред, а также режимов предварительной обработки матричных и островковых систем на химическую активность их поверхности. Исследование структурных, электрофизических и фоточувствительных свойств матрично-пленочных систем и островковых гетероструктур.

По теме диссертации было опубликовано 6 работ в международных и республиканских научных изданиях, материалах и тезисах конференций.

Результаты работы докладывались на 57-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, а также на IX International Scientific Conference «Actual Problems of Solid State Physics» (APSSP-2021).

Научная значимость работы заключается в выяснении основных закономерностей формирования наноструктурированных функциональных пленок на темплейтах с различным рельефом, установлении корреляции

микроструктуры и свойств формируемых покрытий.

Практическая значимость работы связана с возможностью использования разрабатываемых методов формирования пространственно-упорядоченных матриц гомо- и гетероструктур на основе полупроводниковых оксидных соединений титана и висмута при создании фотоэлектрических микросистем нового поколения.

Положения, выносимые на защиту.

1. Многократная циклическая обработка матриц АОА в водном 0.1М растворе $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ в течении 10 секунд и в дистиллированной воде при 70 °С в течении 10 секунд позволяет вырастить в порах АОА диаметром 50-60 нм и толщиной 5 мкм фоточувствительные наноструктуры с люминесцентными свойствами.

2. Адсорбция катионов Bi^{3+} и анионов OH^- на массивах наностроек Ti_xO_y , получаемых в результате анодной поляризации двухслойных металлических системы Ti/Al в 0,3 М щавелевокислом электролите при напряжении 43 В, приводит к формированию регулярных массивов гетероструктур $\text{TiO}_2/\text{Bi}_2\text{O}_3$ и смешанного оксида $\text{Bi}_x\text{Ti}_y\text{O}_z$ с контролируемыми размерами и воспроизводимыми свойствами и составом.

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 – 48 страниц. Работа содержит 2 таблицы и 22 рисунка. Библиографический список включает 29 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние методов синтеза многокомпонентных пленок, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, обоснована научная и практической значимость работы, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, а также описаны перспективы использования результатов магистерской диссертации.

В **первой главе** описывается этап разработки процессов создания нанопористых и островковых темплейтов для осаждения оксидных пленок переходных металлов.

Во **второй главе** описываются методики формирования структур, а также методики исследования полученных образцов.

В **третьей главе** представлены результаты структурных, спектрально-оптических, фоторезистивных и электрофизических свойств сформированных структур.

В **приложении** приведен список опубликованных работ соискателя и результаты проверки работы на плагиат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения магистерской диссертации была разработана модель формирования пленок анодного оксида алюминия, исследованы особенности нанесения оксидных пленок методом ионного наплавления. Показана возможность заполнения пор оксида алюминия методом ионного. Изготовлены наносистемы, состоящие из оксида титана и оксида висмута, исследованы их структурно-морфологические характеристики. Измерены вольт-амперные характеристики структур ПАОА/ Bi_2O_3 , измерены ВАХ композитных структур, состоящих из наноструктурированного оксида титана и пленки оксида висмута, определены фотолюминесцентные свойства структуры ПАОА/ Bi_2O_3 . Измерены фоторезистивные свойства пленки оксида висмута. Осаждение пленок Bi_2O_3 происходило равномерно по всей поверхности матрицы TiO_2 , заполняя пространство между окисленными областями титана. Пленка оксида висмута представляет собой скопление зерен в виде пластинок. Длина зерен составляла около 280 нм, а ширина - до 40 нм. В спектре фотолюминесценции структуры ПАОА/ Bi_2O_3 присутствуют два канала фотолюминесценции с центром на 460 и 560 нм при длине волны возбуждения в 345 нм. Установлено, что под действием света сопротивление пленки оксида висмута вначале быстро уменьшается, затем уменьшается медленнее и после выключения света увеличивается, стремясь к первоначальному значению. Наибольшие изменения сопротивлений структуры в данном эксперименте составляют $(20 \pm 5) \%$.

По теме диссертации было опубликовано 6 работ в международных и республиканских научных изданиях, материалах и тезисах конференций.

Результаты работы докладывались на 57-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, а также на IX International Scientific Conference «Actual Problems of Solid State Physics» (APSSP-2021) на тему «Synthesis of matrix nanostructures from oxides and sulfides of transition metals».

Список опубликованных работ

[1-A.] Spatially ordered matrix of nanostructured tin-tungsten oxides nanocomposites formed by ionic layer deposition for gas sensing / G. Gorokh, N. Bogomazova, A. Taleb, V. Zhylynski, T. Galkovsky, A. Zakhlebayeva, A. Lozovenko, M. Iji, V. Fedosenko, V. Tolstoy // Sensors. – 2021. – 21(12). – 4169.

[2-A.] Synthesis of matrix nanostructures from oxides and sulfides of transition metals / G.G. Gorokh, A.A. Lozovenko, M.M. Iji, V.S. Fedosenko // Proceedings of IX International Scientific Conference «Actual Problems of Solid State Physics» (APSSP-2021), P 161-164

[3-A.] Features of electrochemical formation of metal and semiconductor nanowires in anodic alumina matrices with variable pores / G.G. Gorokh, A.A. Lozovenko, M.V. Kasatkin, M.M. Iji, V.S. Fedosenko // Proceedings of IX International Scientific Conference «Actual Problems of Solid State Physics» (APSSP-2021), P 156-160.

[4-A.] Горох Г.Г., Лозовенко А.А., Федосенко В.С. / Конструкционные упрочняющие композитные покрытия на алюминиевых сплавах из матричных углеродных и металлоксидных наноструктур // Proceedings of the International scientific and scientific-technical conference on "Resource and Energy-Saving Innovative Technologies in the Field of Foundry", April 13-15, 2021, Tashkent, Republic of Uzbekistan, P.30-32.па

[5-A.] Ионное циклическое осаждение $\text{Sn}_x\text{W}_y\text{O}_z$ на наноструктурированный анодный TiO_2 С. 105-106. / Захлебаева А.И., Федосенко В.С., Иджи М.М., Лозовенко А.А., Горох Г.Г // Мокеровские чтения 12-ая Международная научно-практическая конференция по физике и технологии наногетероструктурной СВЧ-электроники 19–20 мая 2021.

[6-A.] Формирование массивов нанопроводов переменной морфологии / Касаткин М.В., Федосенко В.С. // 57-я Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР, 2021. – С. 134-136