

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

На правах рукописи

УДК 621.383.4

КРЫМСКИЙ
Владимир Игоревич

**ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНОК ТИТАНАТА БАРИЯ И ТИТАНАТА
СТРОНЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОТОКА В СТРУКТУРАХ НА ИХ
ОСНОВЕ**

АВТОРЕФЕРАТ
магистерской 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
д. ф-м. н., профессор
Гапоненко Николай Васильевич

Минск 2019

ВВЕДЕНИЕ

В течение последних двух десятилетий возрастает интерес к синтезу перовскитов для использования в электронной технике. Перовскиты являются широкозонными полупроводниками и характеризуются высоким значением диэлектрической проницаемости. Некоторые перовскиты являются сегнетоэлектриками, такие как титанат бария, титанат свинца, титанат бария-стронция. Перовскиты имеют ряд интересных физических свойств (высокие значения диэлектрической проницаемости, наличие фототока, мемристорные и другие свойства), благодаря которым они находят широкое практическое применение в конденсаторах, элементах энергонезависимой памяти, мемристорах, варисторах, сенсорах и др.

Пленки титаната бария и титаната стронция формируют методами химического осаждения из газовой фазы, молекулярно-лучевой эпитаксией, осаждением из жидкой фазы, импульсно-лазерным напылением, магнетронным напылением и золь-гель методом.

Электрофизические параметры пленок титаната бария и титаната стронция зависят от способов и режимов получения. Золь-гель технология обладает низкой себестоимостью и позволяет легко изменять состав твердотельной пленки ксерогеля за счет изменения прекурсоров, легирующих примесей и режимов термообработки. Представляет интерес проведение дальнейших исследований морфологических и структурных особенностей пленок титаната бария и титаната стронция, сформированных золь-гель методом из зольей определенного состава.

Золь-гель технология получила свое развитие в конце двадцатого века и в настоящее время является областью научных исследований, привлекающей быстро растущие ряды исследований. В 1988 г. Дж. Маккензи, редактор журнала «Journal of Non-Crystalline Solids» в своей обзорной статье указал лишь несколько областей, в которых золь-гель метод нашёл успешное применение. Это материалы для оптических волокон, фильтры и мембраны, а также антиотражающие покрытия и некоторые биоактивные материалы, применяемые для восстановления повреждённых костей. Сегодня область использования золь-гель технологии расширяется от контактных линз и лазерных материалов до тонкопленочных технологий микроэлектроники и синтеза материалов для ювелирной промышленности.

Разработка технологии формирования пленочных структур на основе сегнетоэлектриков титаната бария и титаната стронция представляет интерес для формирования пленочных конденсаторов, мемристоров, варисторов, сенсоров и др.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. Разработка технологии формирования пленочных структур на основе сегнетоэлектриков титаната бария и титаната стронция представляет интерес для формирования пленочных конденсаторов, мемристоров и фоточувствительных приборных структур. Золь-гель технология обладает низкой себестоимостью и позволяет легко изменять состав твердотельной пленки ксерогеля за счет изменения свойств золя. Несмотря на отдельные публикации, представляет интерес проведение дальнейших исследований морфологических и структурных особенностей пленок титаната бария и титаната стронция, сформированных золь-гель методом.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка лабораторной технологии формирования пленок титаната бария и титаната стронция золь-гель методом, исследование их морфологии и фотоэлектрофизических свойств.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- провести анализ методов формирования и свойств пленок титаната бария и титаната стронция;
- разработать методику формирования пленок титаната бария и титаната стронция золь-гель методом;
- исследовать толщину и морфологию пленок титаната бария и титаната стронция, полученных из пленкообразующих золь-гелей;
- исследовать фотоэлектрофизические свойства пленок титаната бария и титаната стронция, синтезированных золь-гель методом.

В качестве объекта исследования были выбраны пленки титаната бария и титаната стронция, синтезированные золь-гель методом на кремнии.

Предмет исследования – физико-химические свойства пленочных структур титаната бария и титаната стронция, полученных золь-гель методом, и закономерности изменения их морфологии и фотоэлектрофизических свойств.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Четырёхкратное нанесение центрифугированием пленки титаната бария толщиной 200 нм на кремниевую подложку с нижним электродом из платины и верхним электродом из никеля обеспечивает формирование пленочной конденсаторной структуры, характеризующейся диэлектрической проницаемостью 233 – 214 и тангенсом угла диэлектрических потерь 0,02 – 0,16 для частоты 10 кГц – 2 МГц, что может позволить создавать тонкопленочные конденсаторы на кремнии.

2. Пленки титаната бария и титаната стронция толщиной 180 – 300 нм, сформированные золь-гель методом на кремнии с верхними электродами из никеля, при облучении видимым излучением демонстрируют фотоэлектрофизические свойства с фототоком при прямом смещении 435 – 703 мкА при напряжении 6 В и при обратном смещении 134 – 256 мкА при напряжении 6 В, что представляет интерес для их использования в качестве фотодиодов, фоторезисторов и других фоточувствительных приборных структур.

Практическая значимость. Обнаруженный фототок в структурах на кремнии с пленками титаната бария и титаната стронция, сформированными золь-гель методом, интересен для разработки фотодиодов, фоторезисторов и других фоточувствительных приборных структур.

Личный вклад соискателя. Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены при непосредственном участии соискателя. Научному руководителю Н.В. Гапоненко принадлежат постановка ряда основных задач и интерпретация полученных результатов. Исследования электрофизических параметров и морфологии образцов проводились при участии специалистов ГЦ БМА филиала НТЦ "Белмикросистемы" ОАО "ИНТЕГРАЛ" – управляющей компании холдинга «ИНТЕГРАЛ».

Опубликование результатов диссертации. По материалам диссертации опубликовано 3 печатные работы: 1 статья в научном журнале и 2 материалах конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 31 наименований. Общий объем диссертации составляет 68 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние методов синтеза перовскитов для использования в электронной технике, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, обоснована актуальность темы магистерской диссертации, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о практической значимости полученных результатов, личном вкладе соискателя, публикациях автора, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** проведен анализ литературы по методам формирования и свойствам пленок титаната бария и титаната стронция и их применению в электронике. Рассмотрены особенности синтеза тонких пленок золь-гель методом и характеристики титаната бария и титаната стронция. Также рассмотрены электрофизические свойства пленок титаната бария и титаната стронция.

Во **второй главе** приведена методика экспериментального исследования. Описана методика приготовления пленок титаната бария и титаната стронция золь-гель методом. Приведены методы анализа экспериментальных образцов.

В **третьей главе** представлены результаты экспериментального исследования. Рассмотрена структура пленок титаната бария и титаната стронция, полученных золь-гель методом. Исследованы диэлектрические свойства титаната бария. Приведен анализ фотоэлектрофизических свойств пленок титаната бария и титаната стронция.

В **выводах** кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, основные выводы теоретической части и приведены основные результаты исследований диэлектрических и фотоэлектрофизических свойств пленок титаната бария и титаната стронция.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках магистерской диссертации проведен анализ литературы по методам формирования и свойствам пленок титаната бария и титаната стронция. Разработана лабораторная технология формирования пленок титаната бария и титаната стронция золь-гель методом, что представляет интерес для изготовления на их основе пленочных конденсаторов, мемристоров и фоточувствительных приборных структур.

Многократное нанесение раствора на кремниевую подложку центрифугированием, содержащего ацетат бария $Ba(CH_3COO)_2$ (или ацетат стронция $Sr(CH_3COO)_2$) и тетраизопропоксид титана $Ti(OCH(CH_3)_2)_4$, а также уксусную кислоту, монометиловый эфир этиленгликоля и ацетон, и последующая термообработка обеспечивают синтез пленок титаната бария и титаната стронция толщиной 50 – 330 нм со структурой, зависящей от температуры обработки.

Изготовленная конденсаторная структура на основе многослойной пленки титаната бария толщиной 200 нм, синтезированной золь-гель методом на кремнии с нижним электродом из платины и верхним электродом из никеля, характеризуется диэлектрической проницаемостью 233 – 214 и тангенсом угла диэлектрических потерь 0,02 – 0,16 для частоты 10 кГц – 2 МГц, что может

позволить создавать тонкопленочные конденсаторы на кремнии. Также структура демонстрирует резистивное переключение из высокоомного состояния в низкоомное и обратно с изменением сопротивления от 20 Ом до 850 кОм, что может быть использовано в мемристорах на их основе [3–А].

В пленках титаната бария и титаната стронция, синтезированных золь-гель методом на подложках монокристаллического кремния, после формирования электродов из Ni и облучении видимым излучением был зарегистрирован фототок. Освещение образцов приводит к значительным изменениям на прямой и обратной ветвях вольт-амперных характеристик, что представляет интерес для их использования в качестве фотодиодов, фоторезисторов и других фоточувствительных приборных структур. Также фототок был зарегистрирован в гетероструктуре титанат бария/титанат стронция на подложке кремния. Пленка титаната бария формировалась золь-гель методом, пленка титаната стронция – ВЧ магнетронным распылением [1–А, 2–А].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1–А] Крымский В. И. Фототок в ксерогелях титаната бария / В. И. Крымский // 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов: Материалы конференции. – Минск: БГУИР, 2019.

[2–А] Крымский В. И. Исследование фототока в гетероструктуре титанат бария-титанат стронция / В. И. Крымский // 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов: Материалы конференции. – Минск: БГУИР, 2019.

[3–А] Свойства тонкопленочного конденсатора на основе титаната бария, сформированного золь-гель методом / П.А. Холов, В.И. Крымский, Н.В. Гапоненко, В.А. Филипеня, Т.В. Петлицкая, В.В. Колос // Доклады БГУИР – в редакции.