

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

УДК _____

Панцулая
Шота Нукриевич

Конденсаторные структуры на основе
наноструктурированных пленок диоксида титана

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-418001

«Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты,
микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Научный руководитель
Петрович Владимир Алексеевич
кандидат физико-математических наук, доцент

Минск 2018

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

Научный руководитель:

Петрович Владимир Алексеевич,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры микро- и
наноэлектроники учреждения
образования «Белорусский
государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Рецензент:

Бойправ Ольга Владимировна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры защиты информации
учреждения образования «Белорусский
государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «15» июня 2018 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. 115, тел.: 293-89-26, e-mail: kafme@bsuir.by.

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

ВВЕДЕНИЕ

Диоксид титана (TiO_2) является важным коммерческим материалом и широко используется во многих сферах жизни. Чаще всего диоксид титана используют при фотокатализе, в солнечной энергетике и газовых сенсорах. В природе TiO_2 встречается чаще всего в виде нескольких модификации: анатаз, рутил и брукит, при этом рутил наиболее термодинамически стабилен. Так же у рутила значения коэффициента преломления и плотности выше, чем у фазы анатаза.

Получаемые пленки диоксида титана различаются по физическим и химическим свойствам в зависимости от структуры пленки, химической композиции и присутствия загрязнителей/допантов. В литературе указывается на несколько способов получения тонких пленок диоксида титана: ультразвуковой распылительный пиролиз, химическое осаждение, жидкофазное осаждение и золь-гель метод. При этом золь-гель метод показывает хорошие результаты при производстве тонких пленок диоксида титана на подложках из стекла или кремния. Основными его преимуществами так же являются низкая стоимость производства, хороший контроль композитов, чистота и равномерность. Метод спин-покрытия позволяет получать тонкие пленки хорошего качества благодаря контролю толщины и площади пленок.

Многие исследования нашли закономерность между концентрацией золя, числом наносимых слоев и электрическими, структурными и оптическими свойствами тонких пленок TiO_2 . К тому же, последующий отжиг так же воздействует на структуру пленки изменяя некоторые свойства и химический состав пленок.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. Актуальность работы определяется необходимостью исследования электрических свойств диоксида титана (TiO_2) для возможного применения в качестве конденсаторов, а также рассмотрение эффективности и целесообразности использования нынешней технологии нанесения наноструктурированных пленок кафедры МНЭ.

Цель и задачи исследования. В данной работе проводятся исследования характеристик конденсаторных структур на основе различных форм диоксида титана (TiO_2) созданных на основе золь-гель технологии. В образцах используется диоксид титана разной степени структурированности: наноструктурированный,

микроструктурированный и смесь 1:1 нано- и микроструктурированного диоксида титана.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Измерение сопротивления, емкости и тангенса угла диэлектрических потерь (добротности).
2. Вычисление удельной емкости и электрической прочности конденсаторных структур.
3. Нахождение зависимости характеристик от времени и температуры.
4. Нахождение зависимости тангенса угла диэлектрических потерь от частоты.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются образцы диоксида титана полученные золь-гель методом различной степени структурированности. Предметом исследования являются электрические характеристики конденсаторных структур на основе диоксида титана, а также технология формирования наноструктурированных пленок кафедры МНЭ.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие основные результаты:

1. Полученные характеристики сопротивления, емкости, добротности и пробивного напряжения.
2. Рассмотрение целесообразности использования нынешней технологии формирования наноструктурированных пленок.
3. Вычисленные характеристики электрической прочности и удельной емкости.
4. Найденная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от частоты.
5. Влияние температуры и времени на добротность и емкость образцов.

Личный вклад соискателя. Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Исследование целесообразности использования технологии формирования наноструктурированных пленок диоксида титана кафедры МНЭ проводилось совместно с научным руководителем Петровичем В.А. Во время работы над диссертацией соискателем были исследованы электрические характеристики пленок диоксида титана различной степени структурированности, а также зависимость характеристик от температуры и времени.

Апробация результатов диссертации. Основные теоретические результаты и законченные этапы диссертационной работы, а также результаты прикладных

исследований и разработок были доложены на 54-й научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов БГУИР, 2018

Публикации. Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 4 опубликованных работах, представленных в материалах научно-практических и научно-технических конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырёх глав, заключения и списка использованных источников, состоящего из 92 наименований. Общий объем диссертации составляет 62 страницы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассматривается актуальность работы и целесообразность нахождения электрических характеристик диоксида титана, а также необходимость исследования технологии получения наноструктурированных пленок кафедры МНЭ.

В **первой главе** рассматриваются основные свойства диоксида титана, а также его кристаллическая структура.

Во **второй главе** проводится обзор литературы и аналитическое исследование современных методов получения наноструктурированных пленок диоксида титана.

В **третьей главе** рассматривается получение образцов конденсаторных структур диоксида титана, а также предложения по улучшению существующей технологии. Диоксид титана формировался по золь-гель технологии с использованием тетроизопророксида титана.

В **четвертой главе** проводится исследование характеристик конденсаторных структур диоксида титана, а также нахождение зависимости характеристик от температуры и времени. Измерения электрических свойств проводились при 40 мВ 10 кГц, а также при 40 мВ 100 кГц. Повторные измерения при 40 мВ и 100 кГц проводились через 10 и 20 месяцев соответственно.

В **заключении** кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, приведены результаты исследований характеристик наноструктурированного диоксида титана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была изучена литература на тему диоксида титана, разобраны способы решения поставленной цели. В данной диссертации были изучены методы получения, структура, электрические свойства диоксида титана и целесообразность его использования в качестве конденсаторов, а также рассмотрена технологии получения слоев диоксида титана кафедры МНЭ.

В работе по новой методике проводилось исследование зависимости иммитансных свойств конденсаторных структур на основе диоксида титана от времени хранения образцов при нормальных условиях и температуры для кафедры МНЭ, впрочем, о существовании аналогичных исследований вне БГУИР ничего известно.

Добротность свежих (29.04.2018 г.) образцов низкая ($Q=18-20$) для использования в качестве конденсаторов, к тому же, плохая адгезия диоксида к поверхности подложки, как и недостаточно точный контроль нанесения слоев и невоспроизводимость технологии указывает на необходимость улучшения/замены технологии производства образцов.

Температура в целом оказывает положительное влияние на добротность структуры при нагреве до $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и отрицательное после. Гистерезис объясняется краевыми эффектами – десорбцией на границе раздела диоксид титана/алюминий. Для уменьшения краевых эффектов возможно применение охранного кольца.

Было установлено, что тангенс угла диэлектрических потерь не зависит от геометрических размеров конденсаторных структур, а также найдена и оценена зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от приложенной частоты.

Было найдено пробивное напряжение $U_{\text{проб}}=2-8\text{ В}$ и вычислена электрическая прочность структур на основе диоксида титана. Соответственно, нежелательно применение данных структур в высокомоощных схемах из-за возникающих необратимых пробоев структур.

Была найдена удельная емкость для образцов конденсаторных структур различной степени структурированности.

В работе намечены пути улучшения, используемой на кафедре МНЭ, технологии формирования слоев на основе диоксида титана. В качестве улучшения золь-гель технологии целесообразно использование электрофореза, контроль температуры, либо изменение поверхностной вязкости зольей.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1] Конденсаторные структуры на основе плёнок наноструктурированного диоксида титана. / Ш.Н. Панцулая, В.А. Макарский // Физика конденсированного

состояния: Сб. науч. трудов. – Мн.: Гродненский Государственный Университет им. Янки Купалы, - 2018.

[2] Варианты усовершенствования классической золь-гель технологии формирования наноструктурированных слоёв. / В.А. Макарский, Ш.Н. Панцулая // Физика конденсированного состояния: Сб. науч. трудов. – Мн.: Гродненский Государственный Университет им. Янки Купалы. - 2018.

[3] Временная нестабильность конденсаторных структур на основе диоксида титана / Ш.Н. Панцулая, В.А. Макарский // Доклады БГУИР: Сб. науч. Трудов. – Мн.: БГУИР. - 2018

[4] Управление процессом формирования гелевых осадков при формировании наноструктурированных диэлектрических слоев / В.А. Макарский, Ш.Н. Панцулая // Доклады БГУИР: Сб. науч. Трудов. – Мн.: БГУИР. - 2018