

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

УДК 621.315.592

Макарский
Владимир Александрович

Золь-гель технология формирования наноструктурированных
диэлектрических слоев

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника,
радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы
на квантовых эффектах»

Научный руководитель
Петрович Владимир Алексеевич
кандидат физ. мат. наук, доцент

Минск 2019

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
идоров
кандидат технических наук, доцент кафедры
защиты информации учреждения образова-
ния «Белорусский государственный универ-
ситет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «29» января 2019 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. 104, тел.: 293-89-92, e-mail: kafei@bsuir.by.

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

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной магистерской диссертации является исследования путей усовершенствования «классической» золь-гель технологии широко применяемой кафедрой «Микро- и наноэлектроники» и за её пределами. В частности, проводился анализ иммитансных параметров жидкостных компонентов применяемый в золь-гель технологии.

Иммитанс – это обобщающее понятие для полного (комплексного) сопротивления – импеданса - и полной (комплексной) проводимости - адмиттанса.

Анализ этих параметров в последствии может дать информацию о наличии и концентрации нежелательных примесей в исходных жидкостях и растворах на их основе. Используя данный метод анализа можно заранее определять «качество» компонентов, используемых для нужд микроэлектроники, в том числе используемой на кафедре «микро- и наноэлектроники». Такой анализ может привести к улучшению электрофизических свойств готовых изделий и к повышению воспроизводимости параметров.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

- провести анализ состояния исследований по способам управления золь-гель процессами на этапах формирования пленок

- выявить факторы влияющий на конечные свойства получаемых пленок на основе систематизации современных теоретических данных в области золь-гель технологии;

- разработать варианты усовершенствования «классической» золь-гель технологии применяемой кафедрой микро- и наноэлектроники, БГУИР;

- получить эмпирические данные по иммитансным свойствам базовых компонентов золь-гель технологии, таких как вода, спирты, кислоты и их смеси.

- систематизировать и дать теоретическое обоснование полученным данным, сформировать набор факторов, оказывающих влияние на иммитансные свойства исследуемых жидкостей;

- разработать рекомендации по применению полученных результатов в ходе учебной и научной деятельности кафедры.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В современной золь-гель технологии внимание в основном уделя-

ется подбору растворителей и золь-образующих компонентов. Большинство работ направленно на получение новых химических составов гелей, а также на изучение методов состаривания и сушки гелей для получения структурированных материалов.

Классическая технология направлена на выбор химических реагентов, очередности их введения, а также на подбор временных интервалов проведения реакций, упуская возможность внешнего воздействия на различных этапах формирования пленок. Типичный золь-гель процесс начинается с приготовления растворов, содержащих воду как основу, спирт как растворитель, кислоту или основание как катализатор и соединения для образования золя с последующим преобразованием золя в гель.

Таким образом раствор вода-спирт-кислота является базовым для всей технологии, и необходимость разработки методов контроля этих компонентов является перспективной задачей способствующей развитию золь-гель технологии.

Также, развитие способов воздействия на реакции перехода золя в гель и последующего осаждения геля на подложку, таких как прикладывание электрического поля к системе раствор-подложка, локальный нагрев подложки и другие методы, представляют интерес для получения новых свойств сформированных пленок.

Степень разработанности проблемы

Одним из недостатков «классической» золь-гель технологии является практически полное отсутствие управления процессом на стадии формирования пленок, в современной литературе, предлагаемое управление свойствами получаемых пленок заключается в выборе компонентов золя и растворителя, а также, в методах сушки полученных пленок. Проводимое нами исследование направлено на устранение этого недостатка с помощью изучения имитансных свойств базовых компонентов и методов воздействия на систему раствор-подложка электрохимическим способом.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является разработка методов контроля базовых компонентов золь-гель технологии и способов воздействия на процессы, влияющих на свойства сформированных пленок.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

– провести анализ состояния исследований по способам управления

золь-гель процессами на этапах формирования пленок

–выявить факторы влияющий на конечные свойства получаемых пленок на основе систематизации современных теоретических данных в области золь-гель технологии;

–разработать варианты усовершенствования «классической» золь-гель технологии применяемой кафедрой микро- и наноэлектроники, БГУИР;

–получить эмпирические данные по иммитансным свойствам базовых компонентов золь-гель технологии, таких как вода, спирты, кислоты и их смеси.

–систематизировать и дать теоретическое обоснование полученным данным, сформировать набор факторов, оказывающих влияние на иммитансные свойства исследуемых жидкостей;

–разработать рекомендации по применению полученных результатов в ходе учебной и научной деятельности кафедры.

Объектом исследования является золь-гель технология формирования диэлектрических пленок.

Предметом работы выступают методы усовершенствования «классической» золь-гель технологии.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты известных исследований отечественных и зарубежных ученых в области электрохимии и золь-гель технологии.

Для получения теоретических результатов исследования использовались данные полученные кафедрой микро- и наноэлектроники, БГУИР, в ходе работ по изготовлению пленок золь-гель методом.

Обработка полученных данных проводилась с использованием MSExcel.

Информационная база исследования для выдвинутых теоретических предложений сформирована на основе полученных эмпирических данных.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке новых методов воздействия на этапе формирования пленок по

золь-гель технологии, а также в получении экспериментальных данных по иммитансным параметрам воды, спирта, кислоты и их смесей,.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Предложен метод анализа физических свойств отдельных компонентов растворов и их смесей, основанной на регистрации иммитансных характеристик.
2. Установлены конкретные зависимости тангенса угла потерь, эквивалентных сопротивлений и емкостей от частоты в диапазоне от 25Гц до 1МГц, установлены характеристические частоты для растворов различного состава.
3. Рассмотрена схема управления «классическим» золь-гель процессом нанесения диэлектрических слоев путем воздействия на рабочий раствор переменным электрическим полем на установленных частотах.
4. Рассмотрена схема управления золь-гель технологическим процессом путем добавочного использования процесса электрофоретического механизма осаждения.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в ней предложены варианты управления процессами на отдельных этапах формирования диэлектрических слоев по золь-гель технологии. Так же в работе представлены обширные данные по иммитансным параметрам воды, спирта, кислоты и их смесей, в зависимости от типа используемого в измерениях датчика, процентного содержания компонентов в растворах и их температуры.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что на основании полученных данных сформированы рекомендации по усовершенствованию способов воздействия на систему с целью управления процессами гелеобразования и последующим осаждением геля на подложку, так же продемонстрирован новый метод и средства контроля жидкостных компонентов, активно применяемых в золь-гель технологии и за её пределами.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследования были представлены на XXVI международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов "Физика конденсированного состояния", и 54-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в четырех опубликованных работах общим объемом 6,0 п.л.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трех глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 72 страницы. Работа содержит 3 таблицы и 41 рисунок. Библиографический список включает 41 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблем золь-гель технологии, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, 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 теоретическая основа золь-гель технологии касательно актуальных проблем с контролем и воспроизводимостью параметров, получаемых золь-гель методом.

Во **второй главе** представлен анализ современного состояния золь-гель технологии, показаны недостатки классической технологии, и приведены предложения по усовершенствованию технологии

В **третьей главе** представлены результаты исследований по предложенным вариантам усовершенствования золь-гель технологии, большое внимание уделено анализу иммитансных параметров базовых компонентов золь-гель технологии.

В **заключении** обобщены выводы по проведенным исследованиям, и даны рекомендации по усовершенствованию «классической» золь-гель технологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы над магистерской диссертацией был проведён ряд измерений иммитансных параметров для определения физико-химических

свойств исходных компонентов, таких как вода, спирты, кислоты и растворы на их основе, применяемые кафедрой Микро и наноэлектроники в работах по золь-гель технологии. Определение «качества» жидких компонентов играет ключевую роль для усовершенствования свойств получаемых плёнок и способствует воспроизводимости параметров получаемых покрытий.

При этом получены следующие результаты:

1. Проведен анализ «классической» золь-гель технологии. Подробным образом описаны этапы получения диэлектрических пленок;
2. В ходе работы проанализированы основные недостатки золь-гель технологии, используемой на кафедре «Микро- и наноэлектроники».
3. Описаны средства и методы проведения исследовательских работ;
4. Предложен метод анализа физических свойств отдельных компонентов растворов и их смесей, основанной на регистрации иммитансных характеристик.
5. Установлены конкретные зависимости тангенса угла потерь, эквивалентных сопротивлений и емкостей от частоты в диапазоне от 25Гц до 1МГц, установлены характеристические частоты для растворов различного состава.
6. Рассмотрена схема управления «классическим» золь-гель процессом нанесения диэлектрических слоев путем воздействия на рабочий раствор переменным электрическим полем на установленных частотах.
7. Рассмотрена схема управления золь-гель технологическим процессом путем добавочного использования процесса электрофоретического механизма осаждения.

Список опубликованных работ

[1] Макаровский, В.А. – Варианты усовершенствования классической золь-гель технологии формирования наноструктурированных слоев / Макаровский В.А., Панцулая Ш.Н. // Материалы XXVI международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов "Физика конденсированного состояния" – Гродно, 2018 – С. 76-77.

[2] Макаровский, В.А. – Конденсаторные структуры на основе пленок наноструктурированного диоксида титана / Макаровский В.А., Панцулая Ш.Н. // Материалы XXVI международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов "Физика конденсированного состояния" – Гродно, 2018 – С. 94-95.

[3] Макаровский, В.А., Панцулая Ш.Н. - Управление процессом формирования гелевых осадков при формировании наноструктурированных диэлектрических слоев / Макаровский В.А., Панцулая Ш.Н. // Материалы 54-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» – Минск, 2018 – С. 216-217.

[4] Макаровский, В.А. - Временная нестабильность конденсаторных структур на основе диоксида титана / Макаровский В.А., Панцулая Ш.Н. // Материалы 54-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» – Минск, 2018 – С. 114-115.