

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

*На правах рукописи*

УДК 539.216.2

ДЯТЧИК  
Анастасия Юрьевна

**ИОННОЕ АССИСТИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССАХ ОБРАЗОВАНИЯ  
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ  
ТВЕРДОГО ТЕЛА**

АВТОРЕФЕРАТ  
магистерской диссертации на соискание степени  
магистра техники и технологии

по специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии  
проектирования электронных систем»

Научный руководитель  
канд. физ.-мат. наук, доцент  
ДИК Сергей Константинович

Минск 2015

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Дик Сергей Константинович**,  
кандидат физико-математических наук,  
доцент, академик Белорусской инженерной  
академии

Рецензент: **Полубок Владислав Анатольевич**,  
кандидат технических наук, заведующий  
кафедры микропроцессорных систем и сетей  
«Института информационных технологий»  
учреждения образования «Белорусский  
государственный экономический  
университет»

Защита диссертации состоится «23» января 2015 г. года в 9<sup>50</sup> 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, 4, 1 уч. корп., ауд. 415, тел.: 293-20-88, e-mail: kafpiks@bsuir.by.

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

## **ВВЕДЕНИЕ**

Технологические потребности рынка повышают актуальность получения высококачественных тонкопленочных слоев металлов, сплавов, диэлектриков и полупроводников. В настоящее время трудно найти область техники, где бы пленочные покрытия или изделия на их основе не выполняли определённой функциональной роли. В связи с развитием отраслей электронного и оптического приборостроения, машиностроения, и металлообработки, средств коммуникаций и авиастроения возрастает интерес к получению покрытий с особыми электрофизическими, оптическими, механическими, жаростойкими и антикоррозионными свойствами на различных органических и неорганических материалах.

На сегодняшний день представляются перспективными методы формирования пленок, основанные на ионной бомбардировке выращиваемой фазы. Облучение поверхности подложки ионами в процессе выращивания пленок — ионное асси́стирование (ion beam assisted deposition — IBAD), позволяет в широких пределах управлять свойствами наносимых слоев независимой регулировкой потоков на подложку. Ионная бомбардировка является необходимым условием роста метастабильных фаз пленок сверх твердых элементов и соединений.

IBAD процессы могут осуществляться при термическом испарении путем подведения энергии к веществу резистивным и высокочастотным нагревом, электронной бомбардировкой и нагревом с помощью лазерного излучения. Кроме того, IBAD технология может быть реализована при испарении вещества взрывом, при импульсном воздействии на него лазерного излучения, а так же при формировании пленок ионно-плазменными и ионно-лучевыми методами, что получило наибольшее распространение. Для осуществления процессов IBAD используются асси́стирующие ионные источники, модернизация и изучение одного из которых и является одним из вопросов представленных в данной диссертации.

При проектировании ионного источника придется решить ряд конструкторских и технологических задач, необходимостью проведения расчётов систем, а также моделирование процессов и оборудования, лишь только при грамотном и правильном решении вышеперечисленных задач можно будет разработать работоспособное и технологичное изделие для исследования процесса ионно-лучевого нанесения тонких пленок.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Развитие отраслей электронного и оптического приборостроения, а также процессы получения высококачественных тонкопленочных слоев требуют усовершенствования процессов ионно-лучевого нанесения тонких

пленок, получение покрытий с особыми свойствами на различных органических и неорганических материалах твердых тел.

### **Степень разработанности проблемы**

Связь с приоритетными направлениями:

— процессы ассистирования применяются в наносистемной технике (полностью или частично созданные на основе наноматериалов или нанотехнологий функционально завершённые системы и устройства);

— тонкопленочные покрытия оксидов металлов глубоко связаны с производством нанотехнологической продукции (основной вид продукции nanoиндустрии, представляющий собой совокупность наноматериалов и наносистемной техники).

Исследование вопросов ионного ассистирования и нанесения тонких пленок в условиях вакуума также рассматриваются в трудах О. Г. Бобровича, «Смачиваемость алюминиевого сплава марки Д16, модифицированного осаждением титанового покрытия в условиях ионного ассистирования»; В.В. Жукова, В.П. Кривобокова, С.Н. Янина «Распыление мишени при ассистировании магнетронного разряда ионным пучком».

### **Цель и задачи исследования**

Цель: применить ассистирующие процессы к ионно-лучевому нанесению тонких пленок оксидов металлов, исследовать влияние применяемых методик и техпроцессов нанесения на свойства получаемых тонкопленочных слоев.

Задачи:

1. Модернизация конструктива ионного источника, введение ассистирующей степени;
2. Провести процесс нанесения материала на поверхность твердого тела;
3. Выявить основные факторы, влияющие на свойства получаемых тонкопленочных слоев.

**Объектом** исследования являются процессы, ассистирующие ионно-лучевому нанесению тонкопленочных слоев, и покрытия с особыми электрофизическими и оптическими свойствами.

**Предметом** исследования являются тонкопленочные покрытия оксидов металлов на кремниевых подложках и ионно-лучевой источник интегрированный с дополнительной плазменной системой (ассистирующая степень).

**Область исследования.** Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй степени (магистратуры) специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования электронных систем».

### **Теоретическая и методологическая основа исследования**

В основу диссертации легли результаты известных российских и зарубежных исследователей в области тонкопленочных покрытий оксидов металлов в условиях ионного ассистирования (ионный источник, интегрированный с дополнительной плазменной системой).

В качестве основы при модернизации интегрированной распылительной системы положен принцип стимуляции магнетронного разряда ионным пучком. Конструкция выполнена на базе существующего ионно-лучевого источника исходя из совместно-осевого расположение магнетрона и ионно-лучевого источника.

Конфигурация и напряженность магнитного поля осуществлялись при помощи программного комплекса ELCUT. На основании полученных результатов проведена оценка о пригодности ионного источника для проведения ассистированного магнетронного нанесения покрытий и его последующей модернизации.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в создании ассистирующей распылительной системы, которая позволяет проводить ионно-ассистированные процессы нанесения с использованием, как ионного источника, так и магнетронной распылительной системы.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Модернизация конструктива ионного источника, введение ассистирующей ступени и осуществление процессов ассистирующих ионно-лучевому нанесению тонкопленочных слоев;
2. Проведение процесса нанесения материала на поверхность твердого тела и выявление основных факторов, влияющих на свойства получаемых тонкопленочных слоев.
3. Покрытия с особенными электрофизическими и оптическими свойствами.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в том, что в ней применяется разработанная ионно-лучевая система для формирования различных тонкопленочных слоев.

**Практическая значимость** диссертации состоит в том, что ассистированное нанесение является весьма перспективным для производства разнообразных изделий микроэлектроники, оптоэлектроники и оптики. Существует возможность управления свойствами формируемых слоев, а также двойное нанесение тонкопленочных структур позволит применять широкий спектр материалов (как для подложек, так и наносимых пленок).

## **Апробация и внедрение результатов исследования**

Результаты исследования были представлены на следующих конференциях:

1. 49-я Научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «БГУИР»;
2. 10-я Международная молодежная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций», г. Севастополь, Украина, 12-17 мая 2014 г./ СевНТУ;
3. 7-я Международная студенческая научно-техническая конференция «Главные направления развития приборостроения», г. Минск, 23 – 25 апреля 2014 г. / БНТУ
4. 50-я Научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «БГУИР»;
5. III-й Молодежный инновационный форум «Наука и бизнес '13».

## **Публикации**

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в шести опубликованных работах общим объемом 7,0 страниц (авторский объем 7,0 страниц).

**Структура и объем работы.** Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка и приложения. Общий объем диссертации — 63 страницы. Работа содержит 1 таблицу, 33 рисунка. Библиографический список включает 60 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы получения тонкопленочных покрытий в условиях вакуума, 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 ионно-лучевого нанесения 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** проводится анализ современных способов вакуумного нанесения тонких плёнок, включая патентные исследования по ионно-лучевым и ассистированным ионно-лучевым методам нанесения тонких плёнок, а также по оборудованию, выполняющему данные операции.

Во **второй главе** приведен анализ ионно-лучевых методов получения пленок. Ионно-лучевыми методами можно назвать процессы, при которых поток наносимого материала получается путем воздействия (распыления)

ионами, генерируемыми из разряда, создаваемого автономными источниками ионов на твердотельную мишень. Проведён анализ свойств материалов и возможность их применения в конструкциях ионного источника. Модернизирована конструкция ионного источника с ассистирующей ступенью.

**В третьей главе** представлены результаты моделирования конфигурации и величины магнитного поля в разрядной зоне двойного ионно-лучевого источника. Произведены исследования разрядных характеристик разработанной системы, установлены области предпочтительной работы. Проведены исследования по формированию пленок оксида цинка двойного ионно-лучевого распыления и ионно-лучевого распыления, определены оптические, электрические, кинетические и стехиометрические параметры наносимых слоев оксидов металла от режимов формирования.

**В приложении** приведены графические зависимости оптических, электрических, кинетических и стехиометрических параметров наносимых слоев оксидов металла от режимов формирования, а также моделирование конфигурации и величины магнитного поля в разрядной зоне

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате данной исследовательской работы была модернизирована конструкция ионного источника для проведения процесса формирования пленок в вакууме. На базе данного ионного источника была создана ассистирующая распылительная система, которая позволит проводить ионно-ассистированные процессы нанесения с использованием, как ионного источника, так и магнетронной распылительной системы.

В ходе выполнения работы были выполнены следующие работы:

- анализ современных способов вакуумного нанесения тонких пленок;
- проведены исследования ионно-лучевых характеристик системы; при помощи программного комплекса ELCUT были проведены исследования по определению наилучших соотношений геометрических и магнитных параметров ионно-лучевого источника;
- на основе результатов моделирования была модернизирована конструкция ионного источника. Также были исследованы его основные характеристики: вольтамперные характеристики, определены области предпочтительной работы ионного источника; (наиболее стабильная работа ионного источника была достигнута в диапазоне питающих напряжений от 600 до 1000 В при токе соленоида 10 А. Ток разряда при этом был 180 мА);
- разработана конструкторская документация с помощью современных пакетов САПР.

Применение разработанной системы для формирования различных тонкопленочных слоев ассистированным нанесением является весьма перспективным для производства разнообразных изделий микроэлектроники, оптоэлектроники и оптики, управления структурой наносимой пленки.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Дятчик, А.Ю. Ассистирующая ступень магнетронной системы распыления /А.Ю. Дятчик, С.К.Дик // Моделирование, компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: сб. материалов 49-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «БГУИР». — Минск, 2013 г. — С. 263-264;

2-А. Дятчик, А.Ю. Оптические и электрофизические характеристики тонкопленочных слоев оксида цинка /А.Ю. Дятчик, А.С. Романович, С.К.Дик // Моделирование, компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: сб. материалов 49-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «БГУИР». — Минск, 2013 г. — С. 268-270;

3-А. Дятчик, А.Ю. Технология ионно-плазменной полировки и модификации поверхности при использовании ионных источников / А.Ю.Дятчик, А.В.Парчайкина, С.К.Дик // 10-я Международная молодежная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций», г.Севастополь, Украина, 12-17 мая, 2014 г. — С. 193;

4-А. Дятчик, А.Ю. Магнетронное нанесение тонкопленочных покрытий /А.Ю.Дятчик, С.К.Дик // 7 Международная студенческая научно-техническая конференция «Главные направления развития приборостроения», г. Минск, 23 – 25 апреля 2014 г. / БНТУ;

5-А. Дятчик, А.Ю. Ионное ассистирование в процессах образования тонкопленочных структур на поверхности твердого тела. / А.Ю.Дятчик, А.В.Парчайкина, С.К.Дик // Моделирование, компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: сб. материалов 50-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «БГУИР». — Минск, 2014 г. — сборник в печати;

6-А. Дятчик, А.Ю. Методика воздействия ионизирующего излучения на опухолевые ткани / А.В.Парчайкина, А.Ю.Дятчик, С.К.Дик // Моделирование, компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: сб. материалов 50-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «БГУИР». — Минск, 2014 г. — сборник в печати.