

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

УДК 537.634

ЗАНЬКО  
Андрей Иванович

**ПРОТЯЖЕННЫЙ ИСТОЧНИК ИОНОВ С АНОДНЫМ СЛОЕМ ДЛЯ  
ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

АВТОРЕФЕРАТ  
магистерской диссертации на соискание степени  
магистратехнических наук

по специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Научный руководитель  
канд. техн. наук, доцент  
Котов Д.А.

Минск 2018

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время существует большая востребованность в приборах и устройствах основанных на оптических эффектах. Оптика и оптоэлектроника широко используются как в производстве товаров народного потребления, так и в военной сфере. Повышение требований к качеству и высокой воспроизводимости оптических элементов при доступной стоимости производства, подталкивает промышленное производство к созданию новых технологических процессов и устройств. Метод ионно-лучевой обработки (ИЛО) находит широкое применение в изготовлении элементов оптических систем.

Ионно-лучевая обработка хотя и считается развивающейся областью, но уже существует рынок автономных устройств для формирования направленного потока ионов с различными параметрами и техническими особенностями. Ярким представителем такого класса устройств является ионный источник с анодным слоем. Преимуществом таких источников заключается в простоте конструкции, масштабируемости, отсутствии ограничений по плотности ионного тока и возможности его оперативного изменения в несколько раз без снижения эффективности ускорения. Существуют круглые и протяженные конструкции длиной более 3 метров. Однако зачастую предлагаемые на рынке модели имеют высокую стоимость при неудовлетворительных параметрах ионного потока, а так же недостаточное время эксплуатации между операциями технического обслуживания, что является существенным недостатком в современном производстве.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Современные технологии часто используют вакуумно-плазменные технологии для нанесения тонких функциональных покрытий на различные материалы (металлы, стекло, полимеры и др.). Свойства таких покрытий зависит как от параметров нанесения, так и от состояния поверхности подложки.

Состояние поверхности подложки в свою очередь зависит от условий ее предварительной обработки. Для повышения качества наносимых покрытий необходимо удалить имеющиеся на подложке загрязнения, т.е. очистить и активировать поверхность.

Существующие методы очистки такие как механическая, ультразвуковая, термообработка и электрофизическая обработка целесообразно использовать как предварительную очистку, так как качество порой не соответствует требованиям применяемых в микроэлектронике и оптике. Более дешевыми являются химические методы, но и они не всегда позволяют добиться очистки поверхности от органических растворителей, химических реагентов, пленок сложного состава. Поскольку состав загрязнений большей частью неизвестен, распыление ионами аргона является наиболее эффективным методом удаления сверхтонких поверхностных слоев. Для удаления органических загрязнений очистку

поверхности целесообразно проводить ионами кислорода. Преимущества очистки подложки пучком ионов состоят в следующем: высокий вакуум; возможность использования пучков ионов как инертных, так и химически активных газов; управление в широком диапазоне энергий, плотностью потока ионов; пространственное разделение области формирования плазмы и объекта обработки.

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертации является разработка протяженного источника ионов с анодным слоем с повышенной эффективностью генерации ионного пучка, и большим периодом межоперационного обслуживания.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

- выполнить анализ физико-химических процессов на поверхности и в объеме твердого тела при ионной бомбардировке;
- провести аналитические исследования конструкций и технических возможностей автономных ионно-лучевых устройств;
- моделирование формы и величины индукции магнитного поля;
- определение эффективности системы охлаждения источника ионов;
- разработать протяженный ионно-лучевой источник;
- экспериментальное исследование разрядных параметров источника и характеристик пучка ионов.

**Объектом** исследования является протяженный ионный источник с анодным слоем.

**Предметом** работы является методика повышения эффективности генерации ионного потока, а также зависимости разрядных характеристик и параметров ионного пучка.

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

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

Для получения результатов аналитических исследований составлялась сравнительная диаграмма диапазонов энергий и эквивалентных плотностей тока для различных ионно-лучевых устройств и процессов. Выполнена разработка методики повышения эффективности генерации ионного пучка в источниках с анодным слоем на основе расчета магнитной ловушки и тепловых полей в зоне плазмообразования. Расчеты проводились в программном комплексе *Comsol-Multiphysics* методом конечных элементов. Предварительно геометрия магнитной системы создавалась в CAD - приложении *Autodesk Inventor Professional 2014* и далее импортировалась в *Comsol Multiphysics*. Экспериментальные исследования параметров ионного пучка проводились зондовыми методами с использованием вакуумной установки ВУ-1Мбс.

**Информационная база** исследования заключается в расчете магнитных и тепловых полей.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в разработке методики повышения эффективности генерации ионного пучка в источниках с анодным слоем и протяженной геометрией формируемого потока.

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

Методика повышения эффективности генерации ионного пучка за счет создания магнитной ловушки обеспечивающей формирование дрейфа потока электронов в анодном слое с величиной Ларморовского радиуса не более  $3/5$  от ширины ускорительного канала и обеспечение отсутствия нагрева, постоянных магнитов, анода и стенок ускорительного канала до температур более  $70^{\circ}\text{C}$ .

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в том, что в ней предложены принципы построения высокоэффективной магнитной ловушки обеспечивающей формирование дрейфа потока электронов в анодном слое с величиной Ларморовского радиуса определяемой исходя из размеров ускорительного канала.

**Практическая значимость** диссертации состоит в том, что на основе представленной методики был разработан экспериментальный ионно-лучевой источник протяженного типа для проведения процессов очистки и активации поверхности. Поставлены и отработаны методики проведения исследований параметров ионного пучка.

#### **Апробация и внедрение результатов исследования**

Результаты исследования были неоднократно представлены на республиканских и международных конференциях.

Отдельные положения диссертации, в частности подход к разработке ионных источников протяженной геометрии использовались в рамках проекта Союзного Государства «Технология-СГ» №16-1180 и хозяйственного договора №18-1006.

#### **Публикации**

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в шести опубликованных работах общим объемом 5,0 п.л.

**Структура и объем работы.** Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка. Общий объем диссертации – 62 страниц. Работа содержит 8 таблиц, 43 рисунка. Библиографический список включает 35 наименования.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы обработки поверхности подложки перед технологическими процессами, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

**В общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, 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** рассматривается анализ процессов и устройств ионно-лучевой очистки в вакууме, включающие физико-химические процессы взаимодействия ионов с твердым телом а так же методы ионно-лучевой обработки.

**Во второй главе** приведен экспериментальный комплекс, методы и методики проведения исследований.

**В третьей главе** рассматриваются методы повышения эффективности генерации ионного пучка, расчет магнитных и тепловых полей источника ионов.

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментальных исследований источника ионов с повышенной эффективностью генерации пучка

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе магистерской диссертации провел анализ процессов и устройств ионно-лучевой обработки в вакууме. Провел анализ конструкции и экспериментальное исследование протяженного ионного источника.

Описан экспериментальный комплекс и методики исследований ионного потока.

Проведено моделирование магнитного поля протяженного источника ионов. Была установлена зависимость величины и формы линий индукции магнитной ловушки в ускорительном канале разрабатываемого устройства. В процессе моделирования выяснились факторы повышающие эффективность генерации ионного потока. Учитывая конструктивные и технологические особенности построения протяженных источников ионов, была выбрана форма ускорительного канал и требования к магнитной системе, при котором величина магнитной индукции в области плазмообразования достигла 260 мТл. Проведенные экспериментальные исследования показали увеличение плотности тока генерируемого пучка ионов в 2 раза.

Расчет система охлаждения показал отсутствие перегрева элементов конструкции в рабочем режиме, что позволяет говорить о возможности проведения технологических процессов с длительностью более 1 часа.

В ходе экспериментального исследования были достигнуты следующие характеристики: ионный ток достигал 300 мА.

В результате выполнения расчетных и экспериментальных исследований можно судить, что разработанный протяженный ионный источник можно использовать для очистки и модификации поверхности оптических элементов.

## Список опубликованных работ

[1] Занько А. И., Шандарович Б. М. Источник для процессов ионно-лучевой очистки в вакууме // 24-я Международная научно-практическая конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Физика конденсированного состояния». – Гродно : ГрГУ, 2017.

[2] Занько А. И., Шандарович Б. М. Протяженный источник ионов для обработки в вакууме // 10-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения». – Минск : БНТУ, 2017.

[3] Шандарович Б. М., Занько А. И. Источник для процессов ионно-ассистированного осаждения в вакууме // 24-я Международная научно-практическая конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Физика конденсированного состояния». – Гродно : ГрГУ, 2017.

[4] Шандарович Б. М., Занько А. И. Источник ассистирования осаждению в вакууме // 10-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения». – Минск : БНТУ, 2017.

[5] Занько А. И., Шандарович Б. М. Модернизация источника ионов с анодным слоем // 25-я Международная научно-практическая конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Физика конденсированного состояния». – Гродно : ГрГУ, 2018.

[6] Шандарович Б. М., Занько А. И. Источник для ионно-ассистированного осаждения оптических покрытий // 25-я Международная научно-практическая конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Физика конденсированного состояния». – Гродно : ГрГУ, 2018.