

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

УДК 621.793.18+519.688

Шамшуров
Павел Юрьевич

Моделирование электромагнитных полей ионно-плазменных систем с
использованием программного комплекса COMSOL Multiphysics

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-41 80 02 «Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Научный руководитель

Завадский Сергей Михайлович
доцент кафедры ЭТТ
доцент, канд. техн. наук

Минск 2020

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Ионные источники – устройства для получения направленных потоков ионов. Ионные источники применяются в ускорителях, масс-спектрометрах, ионных микроскопах, установках разделения изотопов, ионных ракетных двигателях.

Полученные в последнее время результаты позволяют предположить, что исследование механизмов физико-химических процессов в плазме и разработка высокоинтенсивной модификации и синтеза тонких пленок в системах с двумя и более плазменными устройствами позволит улучшить технологию формирования многокомпонентных тонких пленок и сделать ее воспроизводимой и высокопроизводительной.

В этой связи особый интерес представляет разработка методов компьютерного моделирования процессов, которые широко используются в последнее время в большинстве отраслей промышленности. Эти методы позволяют существенно сократить количество дорогостоящих экспериментальных исследований, необходимых для разработки или оптимизации (совершенствования) технологических процессов, и ускорить технологическую подготовку производства новых изделий.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы:

Актуальность данной темы обуславливается необходимостью к расширению диапазона решаемых задач и усовершенствованием методик для расчета ионно-плазменных устройств. В этой связи особый интерес представляет разработка методов компьютерного моделирования электромагнитных полей ионных источников.

Целью данной работы:

Разработка модели ионного-плазменного устройства для исследования характеристик, полученных при расчетах в программном комплексе COMSOL Multiphysics источников ионов с различными конструкционными особенностями, разработка готового программного интерфейса для последующего моделирования.

Для достижения поставленной цели в данной работе будут сформулированы следующие задачи:

- анализ существующих типов ионно-плазменных ускорителей;
- анализ существующих методов и разработка общих принципов моделирования разряда ионно-плазменных систем;
- исследование характеристик и принципа работы торцевого холловского ускорителя;
- моделирование и верификация моделей разряда ионно-плазменных систем в магнитных полях;
- создание программного интерфейса на базе COMSOL Multiphysics для расчета типовых задач по ионным источникам.

Объект исследования – Конструкции ионных источников на основе торцевого холловского ускорителя, электромагнитные поля ионно-плазменных устройств.

Предмет исследования – Процессы генерации заряженных частиц в ионных источниках на основе торцевых холловских ускорителей, система моделей, позволяющих улучшить характеристики ионных источников.

Научная новизна диссертационной работы заключается в использовании метода компьютерного моделирования электромагнитных полей ионного источника на базе программного комплекса COMSOL Multiphysics.

Основные положения, выносимые на защиту

- Проведены экспериментальные исследования основных характеристик ионных источников на базе торцевого холловского ускорителя;
- Выявлена взаимосвязь между индукцией магнитного поля и эффективностью работы ионного источника.
- Разработана модель ионного источника для вычисления основных характеристик в программном пакете COMSOL Multiphysics;

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что разработана модель ионного источника для получения необходимых характеристик в программном пакете COMSOL Multiphysics.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что, разработан ионный источник на постоянных магнитах.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трех глав и заключения, библиографического списка и приложения. Общий объем диссертации – 63 страниц. Работа содержит 5 таблиц, 54 рисунков. Библиографический список включает 16 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В общей характеристике работы сформулированы цель и задачи диссертации, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, описаны предмет и методы исследования, установлена научная новизна диссертационной работы. Перечислены основные положения, выносимые на защиту, также указаны структура и объем диссертации.

Во введении рассмотрено современное состояние нанесения тонких пленок с помощью ионного-источник и способы усовершенствования методов компьютерного моделирования.

В первой главе проводится анализ существующих ионных источников, рассматриваются конструкционные особенности и сравниваются основные характеристики при нанесении тонких пленок.

Во второй главе рассматривается конструкция и принцип работы ионного источника на основе торцевого холловского ускорителя. Исследуется разрядные и эмиссионные характеристики, полученные в экспериментальной установке.

В третьей главе основное внимание уделяется анализу программных комплексов для мультифизического моделирования. Проводится описание интерфейса COMSOL Multiphysics и поэтапного моделирования ионного источника. На основе полученных результатов в ходе вычисления модели был разработан образец торцевого холловского ускорителя на постоянных магнитах. Так же в ходе исследования получены его характеристики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрены конструкции источников ионов и электронов. Представлен обзор методов генерации сильноточных пучков ионов инертных и химически активных газов с использованием устройств с холловским током.

Проведен анализ методов диагностики эмиссионных характеристик потоков заряженных частиц, на основе чего разработан комплекс для диагностики характеристик потоков заряженных частиц и нейтральных атомов ионно-плазменных систем, который позволяет измерять такие основные характеристики ионно-плазменных систем как плотность тока заряженных частиц, энергия ионов, потенциал плазмы, концентрация заряженных частиц, скорость нанесения тонких пленок

На основе анализа исследуемого процесса сформулированы общие принципы этапов моделирования разряда ионно-плазменных систем.

Проведен сравнительный анализ программных пакетов для моделирования физических процессов ионных источников. Положительные и отрицательные стороны были вынесены в отдельную таблицу.

Было рассмотрен интерфейс программы COMSOL Multiphysics и поэтапного моделирования магнитного поля, путем параметризации и конфигурации ионного источника. Построены графики и диаграммы, описывающий зависимость магнитной индукции от тока многовитковой катушки. А также измерена индукция B в области анода.

На основе полученных данных была разработан образец ионного источника, который имеет простую конструкцию, а в качестве генератора магнитных полей используется постоянный магниты, которые имеют низкий дрейф характеристик при нагреве. Были исследованы основные характеристики спроектированного источника ионов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Аюпов, В. А. Кварцевый датчик для измерения скорости нанесения тонких пленок методами ионно-плазменного распыления / В. А. Аюпов, П. Ю. Шамшуров, А. Д. Голосов // Электронные системы и технологии : 55-я юбилейная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. : сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 262.

2. Шамшуров, П. Ю. Моделирование магнитных полей торцевого холловского ускорителя / П. Ю. Шамшуров, А. Д. Голосов, В. А. Аюпов // Электронные системы и технологии : 55-я юбилейная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. : сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 396–397.

3. Голосов, А. Д. Нанесение пленок танталата-ниобата стронция-висмута в off-axis конфигурации / А. Д. Голосов, В. А. Аюпов, П. Ю. Шамшуров // Электронные системы и технологии : 55-я юбилейная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. : сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 275–276.

4. Аюпов, В. А. Разработка конструкции кварцевого датчика и системы перемещения / В. А. Аюпов, П. Ю. Шамшуров // Электронные системы и технологии : 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 18-20 мая 2020 г. : сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2020.