

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы докторанта PhD по специальности
6D071900 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникация»

Сағындық Ә.Б.

на тему «Исследование свойств иммерсионных электронных линз с двумя плоскостями симметрии»

Общая характеристика работы. Основными элементами электронной оптики являются электронные линзы. Линзы могут быть классифицированы с самых разных точек зрения. К основным типам электронной линзы относятся иммерсионные линзы и одиночные линзы. Иммерсионной электронной линзой может быть названа линза, у которой потенциалы справа и слева от линзы постоянны, но не равны. Если же потенциалы справа и слева от линзы постоянны и равны между собой, то такие линзы называются одиночными.

Комбинация иммерсионной линзы с источником электронов – катодом называется иммерсионным объективом, также их можно назвать катодной линзой или эмиссионной иммерсионной линзой.

Настоящая работа посвящена теоретическому и практическому исследованию свойств новых эмиссионных иммерсионных электронных линз с двумя плоскостями симметрии. Предлагаются новые эмиссионные электронно-оптические элементы вакуумной электроники с улучшенными фокусирующими характеристиками.

В первой главе проведен обзор научных работ по исследованию электронных линз.

Моделирование полей и расчет распределения потенциалов в исследуемых электростатических линзах с двумя плоскостями симметрии рассмотрена во второй главе диссертационной работы.

В третьей главе разработаны алгоритмы и программы для проведения численных исследований эмиссионных элементов с двумя плоскостями симметрии на языке программирования Delphi. Рассмотрена методика расчета параксиальных параметров с условием фокусировки в области заданной точки пространства. Проведены численные исследования параксиальных параметров.

В четвертой главе проводится сравнительный анализ параметров фокусировки коробчатой линзы с квадратным сечением и осесимметричной линзы. В этой главе было показано, что для рассматриваемой коробчатой эмиссионной иммерсионной линзы целый ряд коэффициентов аберрации, по оси x имеют заметно меньшие значения по сравнению с аберрациями другого направления. При этом, аберрации направления « y » примерно равны аберрациям осесимметричных эмиссионных линз. Таким образом, показано, что эмиссионные линзы с двумя плоскостями симметрии позволяют построить источники заряженных частиц с улучшенными фокусирующими характеристиками.

Актуальность темы исследования. Электронно-оптические элементы вакуумной электроники в настоящее время широко применяются для построения различных электронных приборов, устройств и технологических установок. Например, такие элементы используются в электронных микроскопах, масс-спектрометрических приборах, устройствах СВЧ электроники, а также в электронно-литографических и ионно-литографических установках нано и микро электронных технологий.

Важнейшим элементом большинства приборов являются иммерсионные объективы. Технические характеристики электронно-оптических и ионно-лучевых приборов и устройств в достаточной большой степени зависят от качества фокусировки иммерсионных объектив, так как именно в ней начинается процесс формирования пучка заряженных частиц.

Классические методы исследования электронных линз непригодны для разработки теории иммерсионных объектив ввиду того, что они не учитывают специфичности их начальных условий. Созданию эффективной теории иммерсионных объектив долгое время препятствовали трудности математического характера, связанные с обращением в ноль потенциала на поверхности катода, а также с большими наклонами траекторий в окрестности поверхности с нулевым потенциалом.

На основании анализа современного состояния и проблем по совершенствованию устройств электронной техники можно сделать вывод, что в вакуумной электронике весьма актуальны задачи разработки новых типов иммерсионных линз. При этом, улучшение фокусирующих свойств электронно-оптических элементов позволяет получить улучшенные технические и эксплуатационные характеристики в электронно-оптических и ионно-лучевых приборах и технологических устройствах. Поэтому, исследования электронно-оптических параметров и характеристик новых элементов вакуумной электроники являются актуальной задачей электронного приборостроения.

Цель работы. Целью настоящей работы является исследование и разработка новых эмиссионных электронно-оптических элементов вакуумной электроники с улучшенными фокусирующими характеристиками.

Задачи исследования:

1. Разработать модели и рассчитать электростатические поля фокусирующих иммерсионных элементов с двумя плоскостями симметрии;
2. Разработать алгоритмы и программы для проведения численных исследований параксиальных параметров эмиссионных элементов с двумя плоскостями симметрии;
3. Создать автоматизированную рабочую среду для расчета комплекса параметров фокусировки иммерсионных электронных линз с двумя плоскостями симметрии;

4. Провести численные исследования параметров фокусировки иммерсионных линз с двумя плоскостями симметрии с помощью разработанной программы;

5. Рассчитать абберрационные коэффициенты коробчатой эмиссионной линзы.

6. Выполнить сравнительный анализ параксиальных и абберрационных параметров рассмотренных иммерсионных линз.

Объект исследования. Объектом исследования являются эмиссионные иммерсионные линзы, являющиеся одним из наиболее важных элементов вакуумной электроники.

Предмет исследования. Предметами исследования являются электронно-оптические параметры эмиссионных иммерсионных линз с двумя плоскостями симметрии. Комплексный анализ этих параметров позволяет разработать новые электронные эмиссионные линзы, обеспечивающие высокое качество фокусировки.

Метод исследования. При проектировании новых типов иммерсионных линз с двумя плоскостями симметрии важной задачей является моделирование траекторий заряженных частиц, разработка программ для расчетов полей и определение распределения потенциалов в исследуемых линзах. При моделировании траекторий заряженных частиц был использован метод, позволяющий устранить деление на ноль в области катода эмиссионной линзы. Для анализа траекторий решается трехмерное уравнение Лапласа с заданными граничными условиями, то есть решается задача Дирихле для эмиссионной линзы с двумя плоскостями симметрии.

Для численных исследований комплекса параметров фокусировки иммерсионных электронных линз с двумя плоскостями симметрии, как известно, необходимо разработать алгоритмы и программы. Для разработки программы были использованы теории численных методов анализа дифференциальных и интегральных уравнений. Разработанная программа написана на языке программирования Delphi.

Основные положения, выносимые на защиту.

- Математическая методика и программы, использованные для решения трехмерной задачи Дирихле при расчете распределений электростатического потенциала в иммерсионных эмиссионных линзах с двумя плоскостями симметрии;

- Результаты расчетов распределений электростатического потенциала и их производных для эмиссионных линз с конкретными граничными условиями;

- Математическая модель и програмные средства, используемые для расчетов параксиальных свойств эмиссионных линз с двумя плоскостями симметрии;

- Результаты расчетов траекторий заряженных частиц в эмиссионных иммерсионных линзах с двумя плоскостями симметрии при различных значениях поданных потенциалов и размеров электродов;
- Результаты расчетов параметров параксиального уравнения с условием фокусировки заряженных частиц в области заданной точки пространства $|w_y|=0$;
- Математические формулы и программные средства для численных исследований абберационных характеристик;
- Результаты сравнительного анализа абберационных коэффициентов осесимметричной и коробчатой эмиссионных линз;
- Вывод о возможности уменьшения абберационных коэффициентов, хотя бы в одном направлении, при использовании эмиссионной иммерсионной линзы с двумя плоскостями симметрии.

Научная новизна определяется тем, что в работе рассматриваются теоретические и практические вопросы проектирования новых иммерсионных электронных линз с двумя плоскостями симметрии, которые обеспечивают более высокое качество фокусировки заряженных частиц, что в свою очередь приводит к улучшению технических характеристик аналитических приборов и технологических установок.

До настоящего времени рассматривались двумерные электронные линзы, в том числе цилиндрические и осесимметричные иммерсионные линзы. Из числа электронных линз с двумя плоскостями симметрии рассматривались трансаксиальные иммерсионные линзы. Практически другие виды двояко-симметричных электронных иммерсионных линз не исследовались.

Научная и практическая значимость результатов диссертационной работы является высокой потому, что отобранные в результате проведенных исследований новые элементы (иммерсионные электронные линзы) с малыми величинами аббераций и повышенными возможностями их коррекции могут быть использованы при проектировании модернизированных электронно-ионно-лучевых приборов и устройств.

Разработанный программный комплекс позволит проектировать и строить масс-спектрометрические приборы, электронно-оптические преобразователи и усилители, электронные микроскопы, установки для электронной и ионной литографии, установки ионной имплантации и целый ряд других устройств, необходимых для ускоренного инновационного развития.

Источники исследования. Традиционный аппарат теории фокусировки, который используется при исследовании обычных одиночных и иммерсионных электронных линз, не может быть эффективным при исследованиях эмиссионных и отражающих линз, поскольку в эмиссионных

линзах существенно нарушаются условия малости углов наклона траектории частиц в области катода.

В настоящее время в Казахстане имеется качественный научный задел в области теорий и методов исследований элементов и узлов электронно-оптических и ионно-лучевых систем. Казахстанскими учеными под руководством Кельмана В.М. и Якушева Е.М. был создан оригинальный метод преобразования координат и времени в уравнениях движения, это позволило преодолеть указанные выше трудности для электронных зеркал. Эффективная теория эмиссионных систем была разработана Ибраевым А.Т., эта теория позволяет устранить все трудности при исследовании катодных линз. Из построенной Ибраевым А.Т. теории были получены формулы для расчета абберационных характеристик эмиссионной иммерсионной линзы.

Личный вклад автора заключается в том, что все алгоритмы и программы для проведения численных исследований были разработаны автором диссертации и результаты численного исследования были получены лично соискателем. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научными консультантами.

Достоверность результатов. Достоверность полученных в работе результатов не вызывают сомнений, так как полученные результаты исследований для осесимметричных линз, являющихся частными случаями исследованных в работе линз с двумя плоскостями симметрии, совпадают с результатами ряда опубликованных и внедренных в практику работ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе 2 в международных рецензируемых научных журналах, 3 в изданиях, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и МОН РК, 3 в международных научно-практических конференциях.

Статьи в международных рецензируемых научных журналах:

- A.T. Ibraev, A.B. Sagyndyk. Numerical investigation of the aberrational coefficients of a box shaped cathode lens. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences. (Kazakhstan), ISSN: 2224-5278. Vol. 4, № 424. -2017. – pp. 108-114.

- V.R. Roganov, A.B. Sagyndyk, R.F. Akhtarieva, A.K. Beisenbayeva, S.I. Sannikova. Integrated organization of the system for forming the information support of aeronautical simulator. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562. Vol. 12, №15. -2017. pp. 5207-5213. Индекс Хирша 13, Импакт фактор 0,149.

Статьи в изданиях, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и МОН РК:

- А.Т. Ибраев, А.Б. Сагындык. Численное исследование параксиальных параметров коробчатой катодной линзы. Вестник ПГУ, Энергетическая серия. №1. -2017. С. 139-145.

- А.Т. Ибраев, А.А. Ибраев, А.Е. Куттыбаева, А. Сагындык, Д.Т. Джунусова. Параксиальные параметры и aberrации семиэлектродной осесимметричной катодной линзы. Вестник КазНУ. №1. -2016. С.146-152.

- А.Т. Ибраев, А.Е. Куттыбаева, А. Сагындык, В.И. Чернецов, М.В. Чернецов, П.Г. Михайлов. Инвариантное преобразование в информационно-измерительных системах с параметрическими датчиками. Вестник КазНУ. №2. -2017. С. 95-99.

Международные научно-практические конференции:

- Ibraev A.T., Ibraev A.A., Kuttybayeva A.E., Sagyndyk A., Junussova D. Numerical Study of Focusing Parameters of a Five-Electrode Cathode Lens with the Rotational Symmetry of the Field. The 5th International Workshop on Computer Science and Engineering. -2015. pp. 424-430.

- Ибраев А.Т., Сагындык А. Решение задачи Дирихле для электростатических линз с двумя плоскостями симметрии. ТРУДЫ II Международной научно-практической конференции «Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика», Алматы, Казакстан. II том. – 2015. С.155-159.

- Ibraev A. T., Sagyndyk A.B. Numerical investigation of the distribution of electrostatic potential and paraxial parameters of a box shaped cathode lens. Proceedings of the 14th European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences. «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education. GmbH. Vienna. -2017. pp. 61-66.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 109 страницах машинописного текста, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, включающего 104 наименования. Работа иллюстрирована 2 таблицами и 101 рисунками.