

Министерство образования Республики Беларусь
УО «ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК _537.533.3, 621.3.032.26_
№ гос.регистрации _20101999_
Инв. № _____

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по научной работе

_____ Д.О.Глухов

"__" _____ 2012 г.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Вычислительные технологии решения задач анализа и
синтеза электронно-оптических систем
(заключительный)

договор с БРФФИ № _Ф10Р-219_ от 01.05.2010г.

Зам. проректора по научной работе

_____ А.А. Бакатович

"__" _____ 2012 г.

Научный руководитель НИР,
канд. физ.-мат. наук, доцент

_____ В.Г.Залесский

"__" _____ 2012 г.

Новополоцк 2012

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель работы,
ведущий научный сотрудник,
к.ф.-м.н., доцент

В.Г. Залесский
(введение, заключение,
перспективы дальнейшего
развития и практического
использования полученных
результатов, раздел 3.1)

Исполнители темы:

Главный научный сотрудник,
д.т.н., профессор

В.А. Груздев (разделы 1.1,
2.4)

Ответственный исполнитель,
младший научный сотрудник

О.Н. Петрович (разделы 1-3)

Младший научный сотрудник

И.С. Русецкий (разделы 2.3,
2.4, 3.3)

Нормоконтролер

В.Ф. Кулеш

РЕФЕРАТ

Отчет 74 с., 30 рис., 3 табл., 22 источника, 2 прил.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ (ЭОС), ПЛАЗМЕННЫЙ ЭМИТТЕР, ПЛАЗМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОНОВ, ЭЛЕКТРОННЫЕ ПУЧКИ.

Объектом исследования являются электронно-оптические системы с плазменным эмиттером с нелинейными физическими процессами, сопровождающими формирование пучка.

Цель работы — разработка методик, численных алгоритмов, программных инструментариев для решения задач анализа и синтеза электронно-оптических систем.

В результате исследования были созданы эффективные алгоритмы моделирования формирования интенсивных пучков в ЭОС с плазменным эмиттером и разработан пакет прикладных программ для решения задач анализа и синтеза ЭОС.

Степень внедрения — вычислительные технологии решения задач анализа и синтеза ЭОС прошли апробацию при конструировании электронной пушки с плазменным эмиттером при модернизации установки электронно-лучевой сварки на РУП «МТЗ», а также при проведении исследований в рамках Государственной программы «Материалы в технике» при моделировании ЭОС с открытой плазменной поверхностью большого сечения.

Эффективность разработанных программных средств подтверждается результатами верификации расчетных и экспериментальных данных.

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень условных обозначений	5
Введение	6
1 Численные методики моделирования ЭОС с плазменным эмиттером	8
1.1 Особенности плазменных источников электронов	8
1.2 Алгоритмы анализа и синтеза ЭОС	10
1.2.1 Алгоритм расчета эмиссии через сеточный электрод и вторичных ионизационных эффектов	13
1.2.2 Алгоритм численного моделирования фазовой характеристики	15
1.2.3 Алгоритм расчета ЭОС с плазменным эмиттером на основе метода декомпозиции расчетной области	17
1.2.4 Алгоритм оптимизации ЭОС для решения задач синтеза	21
2 Программный комплекс для решения задач анализа и синтеза ЭОС	24
2.1 Оконный пользовательский интерфейс	24
2.2 Выходные параметры программы	29
2.3 Программные модули	32
2.4 Верификация разработанных программных средств и рекомендации к практическому применению	37
3 Результаты моделирования ЭОС с плазменным эмиттером	44
3.1 Расчет фазового портрета электронного пучка	44
3.2 Особенности формирования плазменной поверхности и электронного пучка полем ускоряющего электрода	54
3.3 Стационарный и нестационарный режимы формирования пучка	54
Заключение	67
Перспективы дальнейшего развития и практического использования полученных результатов	69
Список использованных источников	70
ПРИЛОЖЕНИЕ А	73
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	74

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Плазменные процессы в технологических электронных пушках / М.А. Завьялов [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 256с.
2. Петрович, О.Н. Метод численного анализа газонаполненных ЭОС с подвижным плазменным катодом / О.Н. Петрович, В.А. Груздев // Труды Международной конференции по вычислительной математике, Новосибирск, 21-25 июня 2004г. : в 2 ч. / ИВМиМГ СО РАН; редкол.: Г.А. Михайлов [и др.]. – Новосибирск, 2004. – Ч.II. – С. 590 – 595.
3. Груздев, В.А. Численное моделирование фазовой характеристики электронного пучка / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, О.Н. Петрович // Вестник ПГУ. – Сер. С, Фундаментальные науки. – 2010. – № 9. – С. 102 – 110.
4. Свешников, В.М. Расчет прикатодной области в электронно-оптических системах, формирующих интенсивные пучки заряженных частиц / В.М. Свешников // Прикладная физика. – 2004. – №1. – С. 50–55.
5. Свешников, В.М. Моделирование ЭОС с плазменным эмиттером на основе метода декомпозиции расчетной области / В.М. Свешников, В.Г. Залесский, О.Н. Петрович // Прикладная физика.– 2012. – № 2. – С. 40–43.
6. Сыровой, В. А. Теория интенсивных пучков заряженных частиц. — М.: Энергоатомиздат, 2004.
7. Панибрацкий, В.А. Расчет электронно-оптических систем с плазменным эмиттером / В.А. Панибрацкий, В.М Свешников. – Новосибирск, 1983. – 15с. – (Ротапринт 432/ ВЦ СО АН СССР).
8. Вабищевич, П.Н. О решении задач со свободной границей для эллиптических уравнений / П.Н. Вабищевич // Журн. вычисл. мат. и матем. физики. – 1982. – Т 22, № 5. – С. 1109–1117.
9. Гринберг, Г.А. Об одном общем методе подхода к рассмотрению задач теории теплопроводности, диффузии и им подобных при наличии границ, движение которых задано или подлежит определению в ходе решения задачи (проблема Стефана и др.) / Г.А. Гринберг // ЖТФ. – 1974. – Т.44, №10. – С. 2033–2042.

10. Бахвалов, Н.С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков // — М.: БИНОМ, 2006.
11. Свешников, В.М. Построение прямых и итерационных методов декомпозиции / В.М. Свешников // Сиб. Журн. Идустр. Матем. – 2009. – т.12. – №3(39). – С. 99–100.
12. Петрович, О.Н. Программный комплекс ELIS для моделирования ЭОС ПИЭЛ / О.Н. Петрович, В.А. Груздев // Прикладная физика.– 2012. – № 2. – С. 79–85.
13. Плазменный источник электронов с пучком большого сечения / В.А. Груздев [и др.] // ИФЖ. – 2002. – Т. 75, № 3. – С. 166 – 170.
14. Universal plasma electron sources / V.A. Grusdev [et al.] // Vacuum. – 2005. – V. 77. – P. 399 – 405.
15. Крейндель, Ю.Е. Создание и исследование неоднородной плазмы в пеннинговском разряде / Ю.Е. Крейндель, Л.А. Левшук // ЖТФ. – 1968. – Т. 38, № 10. – С. 1675 – 1683.
16. Райзер, Ю.П. Физика газового разряда / Ю.П. Райзер. – Долгопрудный: Интеллект, 2009. – 736с.
17. Ремпе, Н.Г. Разработка и внедрение электронно-лучевой аппаратуры на основе источников с плазменным эмиттером: дис. ...д-ра техн. наук: 05.27.02 / Н.Г. Ремпе. – Томск, 2002. – 270 л.
18. Технологические процессы и системы в микроэлектронике: плазменные, электронно-ионно-лучевые, ультразвуковые / А.П. Достанко [и др.]; под ред. А.П. Достанко; Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск: Бестпринт, 2009. – 199с.
19. Параметры плазмы в эмиссионном канале плазменного эмиттера / В.Л. Галанский и [др.] // ЖТФ. – 1990. – Т.60, №.4. – С.168–170.
20. Бурдовицин, В.А. Об электрической прочности ускоряющего промежутка плазменного источника электронов в форвакуумном диапазоне давлений/ В.А. Бурдовицин, М.Н. Куземченко, Е.М. Окс // ЖТФ. – 2002. – Т. 72, № 7. – С. 134 – 136.

21. Голубев, Ю.П. Плазменные источники электронов с пучками большого сечения для электронно-лучевых технологий: дис. ... канд. тех. наук: 01.04.13 / Ю.П. Голубев. – Новополец, 2003. – 189 л.

22. Влияние давления газа на эмиссионные свойства пламенного эмиттера / В.А. Груздев [и др.] // Вестник ПГУ. Сер. С, Фундаментальные науки. – 2007. – № 3. – С. 90 – 98.