

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА**

*Глумова М. В., ст.преподаватель, Воробьев М. Д., доктор технических наук  
Старостенко В. В., кандидат физико-математических наук*

Низкочастотные флуктуации, характерные для любой полупроводниковой структуры, в значительной степени проявляются при работе полупроводника в качестве термоэлектронного катода. Для большинства современных электровакуумных приборов (ЭВП) основным типом термоэлектронного катода является оксидный, представляющий электронный полупроводник с адсорбированной на поверхности моноатомной пленкой атомов Ва. Как и другие виды катодов, оксидный катод в структуре ЭВП наиболее подвержен деградации, в связи с чем прогнозирование его надежности является в настоящее время актуальной задачей. Использование для решения такой задачи известных методов электрофлуктационной диагностики приводит к необходимости учитывать специфические особенности полупроводникового катода – существование на эмитирующей поверхности участков с пониженным током эмиссии (эмиссионных дефектов), как показателей некачественности катода и его потенциальной ненадежности. Кроме того, типичным режимом работы для оксидного катода является режим ограничения тока пространственным зарядом, при котором шумы, измеряемые в цепи прохождения тока катода, оказываются демпфированными электронным пространственным зарядом. Последнее вносит значительное затруднение при установлении связи контролируемых шумовых параметров с состоянием эмитирующей поверхности, но одновременно может быть использовано при оценке запаса катода по эмиссии. С учетом указанных факторов очевидно, что разработка шумовых методов оценки качества катодов выдвигает на первый план решение вопроса о роли электронного потока как связующего звена между источником флуктуаций и действием этих флуктуаций. Такую роль могла бы выполнить модель токопрохождения в электронно-оптической системе, позволяющей в максимальной степени учесть, в отличие от существующих, распределение эмитированных электронов по начальным скоростям, наличие пространственного заряда и обладать возможностью быть примененной к сложным конфигурациям систем электродов.

В качестве такой модели может служить разработанная численная динамическая осесимметричная модель электронного прожектора с использованием метода крупных частиц.

Физическая постановка проблемы при создании модели предполагала решение самосогласованной задачи решения системы уравнений движения макрочастиц, находящихся под действием создаваемых ими полей пространственного заряда и внешних электростатических полей, которые определялись уравнением Лапласа и Пуассона.

Процесс моделирования представлял численную реализацию во времени следующих блоков:

1. Решение статической задачи, определение электростатических полей в объеме исследуемого прибора с учетом точной геометрии расположения конструктивных деталей;
2. решение системы уравнений движения частиц электронного пучка, исследование процессов распространения электронного пучка с учетом токооседания;
3. определение полей пространственного заряда, создаваемого частицами электронного пучка при распространении, на каждом временном шаге.

Базовая система уравнений представляла совокупность уравнения Пуассона и уравнения Ньютона. Структура модели и численные методы ее реализации описаны в [1].

Результатом моделирования явилось получение интегральных и дифференциальных характеристик пучка в исследуемой области.

Использование численной динамической модели позволяло рассчитывать и анализировать следующие зависимости, несущие информацию о шумовых эффектах в электронных пучках: распределение статических электрических полей; распределение полей пространственного заряда на каждом временном шаге этапов моделирования; распространение частиц в исследуемой области.

Как следствие реализации указанных возможностей осуществлялось решение следующих задач: нахождение токковых характеристик в системе с учетом реального распределения электронов по начальным скоростям; определение местонахождения прикатодного минимума потенциала и кроссовера в различные моменты времени; наблюдение переходных процессов вблизи катода.

Отмеченные особенности модели позволяют рассматривать ее как уникальный инструмент исследования НЧ флуктуаций, связанных с колебаниями работы выхода термоэлектронного катода в ЭВП. Так, в частности появилась возможность выполнения численных экспериментов по изучению связи параметров эмиссионных дефектов (плотность тока эмиссии, размеры, механизмы) с величинами шумовых параметров во внешних цепях по проверке и уточнению известных аналитических соотношений описывающих демпфирование НЧ-шумов пространственным зарядом. Существенным достоинством модели является возможность проведения численного эксперимента вблизи режима насыщения, что недоступно в известных аналитических моделях и представляет практический интерес в связи с разработкой шумовых методов оценки запаса эмиссии катодов. Модель обладает большой наглядностью, так как позволяет визуализировать процесс прохождения электронов в межэлектродном пространстве.

В качестве примера на рис. 1 показана система электродов электронного прожектора кинескопа с заданным модулятором и фокусирующим электродом (такая схема задания электродов использовалась при изучении шумовых характеристик катода). Макрочастицы изображены точками, отображена огибающая пучка, отмечено положение минимума потенциала.

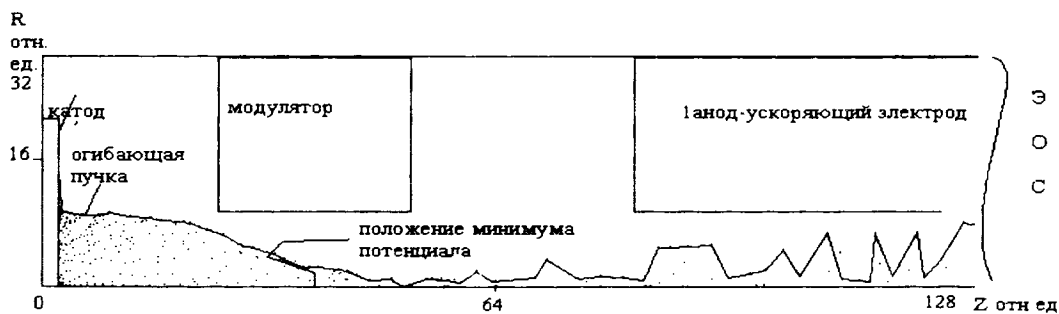


Рис. 1

Мгновенный вид динамической визуализации распространения пучка в электронном прожекторе

Переходные процессы, связанные с флуктуациями прикатодного минимума потенциала показаны на рис.2. На нем приводится зависимость величины минимума потенциала от времени, колебания местоположения кроссовера в течении времени.

Проведено исследование адекватности разработанной модели, подтвердивших согласование полученных результатов с результатом расчета по известным аналитическим соотношениям (расчет вольт-амперных характеристик, включая режимы насыщения, положение минимума потенциала)

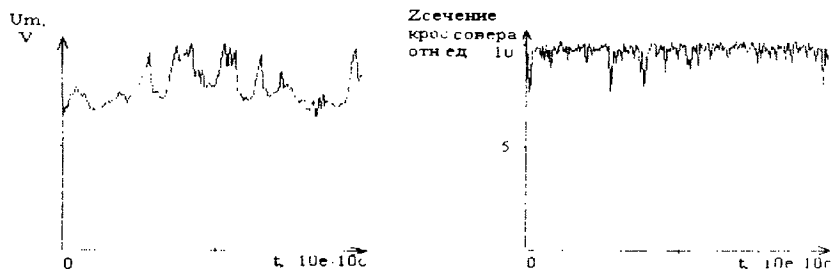


Рис.2

Зависимости колебания минимума потенциала и местоположения кроссовера от времени.

**Литература.**

1. М.В.Глумова, А.А.Шадрин Динамическое моделирование электронно-лучевых приборов методом крупных частиц. Сб. Динамические системы, Вып.13, 1994 г., с.73-78
2. Р. Хокни, Дж. Иствуд Численное моделирование методом частиц.-М.:Мир,1987 г.-640с