

УДК 621.382:537.5

Глумова М.В., Воробьев М.Д.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭМИССИОННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ КАТОДА НА ВОЛЬТ - АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Эмиссионная неоднородность катода оказывает существенное влияние на характеристики и параметры ЭЛП, в связи с чем при моделировании ЭЛП важно учитывать вклад различных участков эмиттирующей поверхности. Вместе с тем она является одним из информативных параметров, свидетельствующих о качестве и надежности катодно-подогревательного узла и всего ЭЛП в целом, вследствие чего моделирование должно рассматриваться как необходимый и ответственный этап при разработке методов контроля и управления качеством. Количественная оценка влияния эмиссионной неоднородности с помощью известных аналитических соотношений связана с серьезными техническими трудностями.

Как известно, любой ЭВП, включая и ЭЛП, имеет в своем составе, в качестве элементарной ячейки, вакуумный диод, вследствие чего весь ЭВП можно представить в виде совокупности элементарных диодных ячеек, моделирование которых в настоящее время проводится без учета современных возможностей средств вычислительной техники.

В отличие от существующих моделей [1, 2, 3], основанных на аналитических соотношениях, разработанная авторами базовая модель диодной ячейки позволяет рассчитывать характеристики электронного пучка в переходном к насыщению режиме и в режиме насыщения, учитывать местонахождение различных эмиттирующих участков на поверхности катода, оценивать величину минимума потенциала и определять демпфирующее влияние на шум прикатодного пространственного заряда, изучать переходные процессы формирования электронного потока при изменении потенциалов электродов. Методика создания модели и особенности ее действия подробно описаны в [4].

Традиционный выбор предмета исследований, известный характер основных физических закономерностей в нем и обилие экспериментальных данных позволили, с одной стороны, продемонстрировать адекватность метода исследования реальным физическим процессам, а с другой - показать преимущества применения новой методики для проведения ранее затруднительных «натурных» экспериментов, в частности исследования влияния эмиссионной неоднородности катода на характеристики электровакуумного устройства.

Для анализа адекватности модели реальным явлениям, выяснения принципиальной возможности расчета ВАХ при переходе к режиму насыщения и в режиме насыщения первоначально рассчитывали вольт-амперные характеристики

для диодной ячейки с размерами: $H_g=0,21 \cdot 10^{-3}$ м и $0,31 \cdot 10^{-3}$ м, $R_g=0,3 \cdot 10^{-2}$ м, $d_{ak}=0,1 \cdot 10^{-3}$ м и $0,2 \cdot 10^{-3}$ м, $R_k=0,1 \cdot 10^{-2}$ м. Геометрические размеры электродов диодной ячейки и моделируемые режимы работы выбирались соответствующими реально существующим ЭЛП – например, области катодно – модуляторного узла телевизионного кинескопа, с поперечным сечением катода, равным площади эффективного токоотбора с катода. Напряжение на аноде изменялось в ходе численных экспериментов в пределах от 2В до 1000В, напряжение на катоде поддерживалось равным 0. Модельные параметры были выбраны на основе общего подхода, изложенного в [4,5], где также проведен анализ влияния параметров дискретизации на адекватность результатов. Количество частиц, аппроксимирующих электронный поток – 1000, заряд крупной частицы $0,1 \cdot 10^{-14} \div 0,9 \cdot 10^{-15}$ Кл. Расчетная область представлена на рис 1.

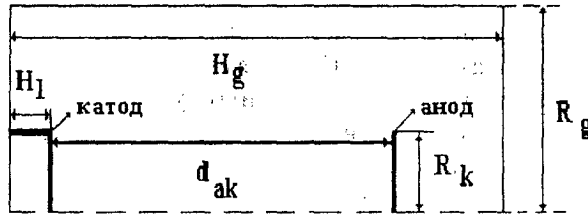


Рис. 1

Расчетная область диодной ячейки с обозначением геометрических размеров.

Анодный ток определялся как количество макрочастиц, поступивших на анод, умноженное на нормировочный коэффициент. Этот коэффициент учитывает укрупнение частицы и временной интервал, в течение которого частицы поступают на анод.

На рисунках 2 и 3 представлены ВАХ, рассчитанные с помощью разработанной модели и с использованием закона степени $3/2x$ [6] при межэлектродных расстояниях. $d_{ak}=0,1 \cdot 10^{-3}$ м и $0,2 \cdot 10^{-3}$ м. Ток эмиссии принимался равным 0,032 А.

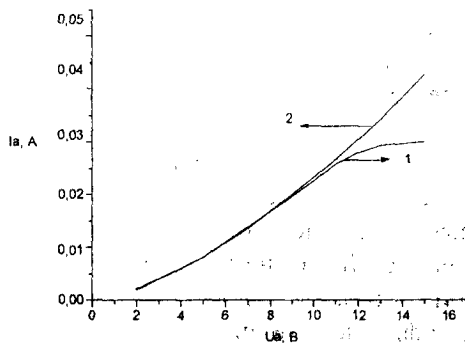


Рис. 2

Вольт-амперные характеристики диодной ячейки при $d_{ak}=0,1 \cdot 10^{-3}$ м

1- рассчитана с использованием модели;

2- рассчитана с использованием закона степени $3/2-x$.

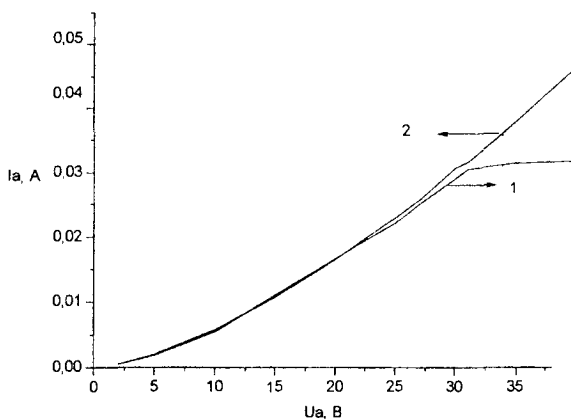


Рис.3

Вольт-амперные характеристики диодной ячейки при $d_{ак}=0,2 \cdot 10^{-3}$ м
1 - рассчитана с использованием модели;
2-рассчитана с использованием закона степени $3/2$ -х.

Как видно, рассчитанные с использованием модели ВАХ (кривые 1) имеют соответствующую теоретическим представлениям форму и четко выраженные участки: область ограничения тока пространственным зарядом и переход к области насыщения. Практическое совпадение ВАХ 1 и 2 для режима пространственного заряда подтверждает правомерность использования разработанной модели при проведении численного эксперимента.

Идентичный характер ВАХ при различных межэлектродных расстояниях позволяет полагать, что влияние этого параметра на указанное выше согласование несущественно.

ВАХ, представленные на рисунках 2, 3, полученные в результате численного эксперимента, содержат участки режима ограничения тока пространственным зарядом и перехода к режиму насыщения. Получить участок перехода с использованием известных аналитических соотношений затруднительно, ввиду чего использование численной динамической модели представляется единственным способом для решения задач, связанных с расчетом характеристик диодной ячейки в пределах переходного участка ВАХ.

Возможности разработанной модели, проиллюстрированные выше, позволили поставить численный эксперимент по изучению влияния эмиссионной неоднородности катода на ВАХ.

В ходе численного эксперимента были рассчитаны ВАХ диодной ячейки при эмиссии отдельных участков катода. При этом предполагалось, что участок эмиссии перемещался по поверхности катода в пределах его площади. Различие геометрических размеров перемещаемого участка определило несколько вариантов

эксперимента. При этом Y (линейный размер перемещаемого участка) изменялся от $0,1 \cdot 10^{-3}$ м до $0,3 \cdot 10^{-3}$ м. На рисунке 4 схематично представлена система, для которой осуществлялся этот эксперимент.

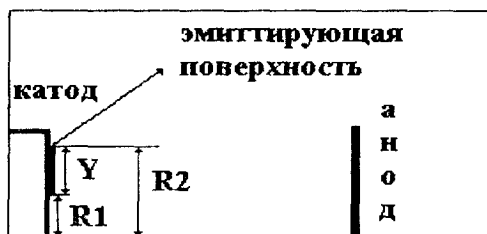


Рис.4

Расчетная область диодной ячейки с указанием участка эмиссии катода.

На рисунках 5-8 представлены полученные в результате численного эксперимента и рассчитанные с помощью закона $3/2$ -х [6] ВАХ при межэлектродном расстоянии $d_{ак}=0,1 \cdot 10^{-3}$ м, различных размерах эмиттирующего участка Y и различном положении участка по отношению к центру катода. Величины R_1 и R_2 определяют координаты краев эмиттирующего участка в цилиндрической системе координат. Кривая 1 рассчитана с использованием разработанной численной модели (численный эксперимент), кривая 2 — с использованием известного аналитического соотношения — закона $3/2$ -х. Для рис. 5-8 $Y=0,2 \cdot 10^{-3}$ м.

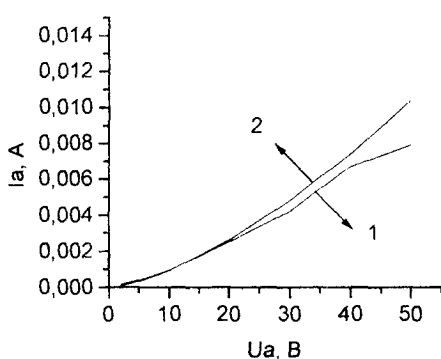


Рис. 5

ВАХ диодной ячейки
 $d_{ак}=0,1 \cdot 10^{-3}$ м, $Y=0,2 \cdot 10^{-3}$ м
 $R_1=0,1$ м, $R_2=0,20 \cdot 10^{-3}$ м

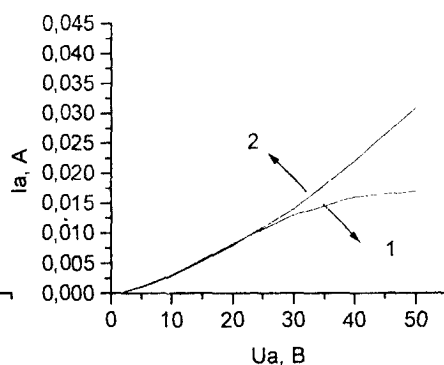


Рис. 6

ВАХ диодной ячейки
 $d_{ак}=0,1 \cdot 10^{-3}$ м, $Y=0,2 \cdot 10^{-3}$ м
 $R_1=0,2 \cdot 10^{-3}$ м, $R_2=0,40 \cdot 10^{-3}$ м

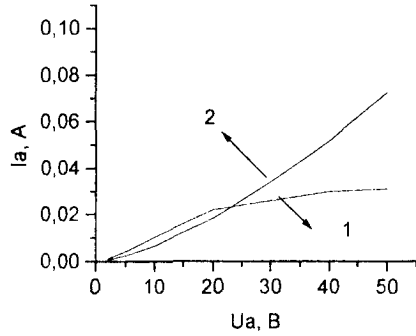
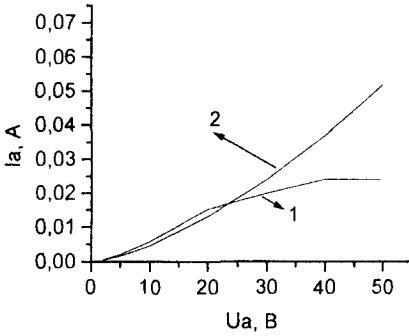


Рис. 7

ВАХ диодной ячейки
 $d_{ak}=0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $Y=0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
 $R1=0,40 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $R2=0,60 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Рис. 8

ВАХ диодной ячейки
 $d_{ak}=0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $Y=0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
 $R1=0,60 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $R2=0,80 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Анализ представленного материала свидетельствует о том, что полученные в результате эксперимента ВАХ при различных размерах перемещаемого эмиттирующего участка имеют идентичные закономерности. При положениях участка, близких к центру катода, наблюдается совпадение ВАХ с рассчитанными по закону $3/2x$ в области ограничения тока пространственным зарядом (рис.5, 6). С увеличением расстояния от центра катода до эмиттирующего участка расхождения между кривыми 1 и 2 в области ограничения тока пространственным зарядом увеличиваются (рис.7,8), при этом экспериментальная кривая располагается выше расчетной. Следует отметить, что размещение эмиттирующего участка ближе к внешней границе катода приводит к существенному расхождению экспериментальной и расчетной кривых, что в целом укладывается в рамки физических представлений о влиянии «краевых» эффектов, связанных с неоднородностью электрического поля в этой области.

Для количественной оценки этого влияния и определения возможности минимизации «краевых» эффектов был проведен эксперимент по определению ВАХ при наличии осесимметричного эмиттирующего участка катода с различными размерами. Если оценивать степень проявления «краевых» эффектов как величину расхождения между экспериментальной (при численном эксперименте) ВАХ и расчетной (по закону $3/2-x$), то полученные результаты позволяют найти условие, при которых такое расхождение становится минимальным. Оно состоит в том, что эмитирующий участок, располагающийся в центре катода, должен иметь площадь примерно в 2,5 – 3 раза меньше площади всего катода.

Найденные закономерности находятся в рамках физических представлений о токопрохождении в реальном диоде с термокатодом [1,5]. Выявленные в ходе эксперимента особенности ВАХ (например, затянутый переход к режиму

насыщения или превышение над расчетной при малых Y) должны быть предметом специального изучения с использованием натурального эксперимента.

Полученные результаты могут быть востребованы в процессе дальнейшего расширения и совершенствования численной экспериментальной базы вакуумной электроники.

Список литературы

5. Клейнер Э.Ю. Основы теории электронных ламп. - М.:Высшая школа, 1974.-367 с.
6. Ван-дер-Зил А. Флуктуации в радиотехнике и физике. - М.: Государственное Энергетическое Издательство, 1958. - 295 с.
7. Шумы в электронных приборах // Под ред. Л.Д.Смулина и Г.А.Хауса.-М.:Энергия,1964.-484 с.
8. Глумова М.В., Шадрин А.А. Динамическое моделирование ЭЛП методом крупных частиц // Динамические системы –Киев: «Либідь» – 1994 –вып.13.-С.80-85
9. Глумова М.В., Воробьев М.Д., Старостенко В.В. Численные исследования шумовых характеристик электронного пучка // Ученые записки Симферопольского государственного университета. – 1998. – № 7 (46). – С.128-130
10. Жигарев А.А. Шамаева Г.Г. Электронно-лучевые и фотоэлектронные приборы.- М.:Высшая школа, 1982.- 463 с.

Статья поступила в редакцию 16.14.2001 г.