

УДК

Влияние скорости испарения активного вещества термокатодов на электропрочность электронных пушек мощных клистронов (математическая модель)

Д.А. Комаров, С.П. Морев

АО «НПП «Торий»

Аннотация: Предложен численный алгоритм расчета вероятности пробоя электронных пушек мощных клистронов на основе математической модели образования перколяционных кластеров и модели случайного осаждения.

Ключевые слова: перколяция, случайное осаждение, импрегнированный катод

1. Введение

Одним из основных требований, предъявляемых к мощным электровакуумным приборам сверхвысокочастотного диапазона (ЭВП СВЧ), является отсутствие пробоев в течение длительного времени работы. Под пробоем понимается срабатывание защитных устройств с отключением напряжений питания прибора и перехода прибора в режим молчания. Основным инициатором вакуумного пробоя по современным представлениям является автоэмиссионный ток, запускающий механизм ионизации остаточного газа. Резкое увеличение числа пробоев с ростом времени наработки ЭВП СВЧ связывают с появлением «вискерсов» - кристаллов активного вещества, испаряющегося с поверхности термокатода и осаждающихся на управляющие электроды пушки.

В работе предложена математическая модель данного процесса, позволяющая определить допустимые скорости испарения активного вещества и влияние осаждения частиц на управляющие электроды на вероятность пробоя вакуумного промежутка.

2. Постановка задачи и метод решения

Задача, связанная с испарением активного вещества термокатода, осаждением его на поверхностях управляющих электродов электронно-оптической системы и связываемое с этими процессами увеличение числа пробоев позволяет сформулировать задачу в виде двухэтапного анализа. Вначале проводится анализ процесса роста осадка активного вещества на поверхности электрода под действием потока частиц. Затем проводится анализ вероятности пробоя на каждом этапе напыления.

Первая часть задачи является классической задачей статистической физики о случайном осаждении в рамках модели случайного роста (random deposition, RD) при постоянной величине потока [1].

В работе рассмотрен следующий численный алгоритм случайного роста на двумерной сетке: частицы осаждаются случайным образом вдоль вертикального направления на ранее сформированный осадок и фиксируются в узлах квадратной решетки, которая содержит L столбцов в горизонтальном направлении. В моделировании выбрано $L = 100$, число частиц в модели $N=10^5$.

Вероятность обнаружить столбец высотой h определяется биномиальным распределением:

$$p(h) = C_N^h \cdot f^h \cdot (1-f)^{N-h} \quad (1)$$

где C_N^h – биномиальные коэффициенты (число сочетаний), а f – вероятность единичного акта события.

Рисунок 1 демонстрирует процесс роста шероховатости осадка на поверхности электрода с течением времени.

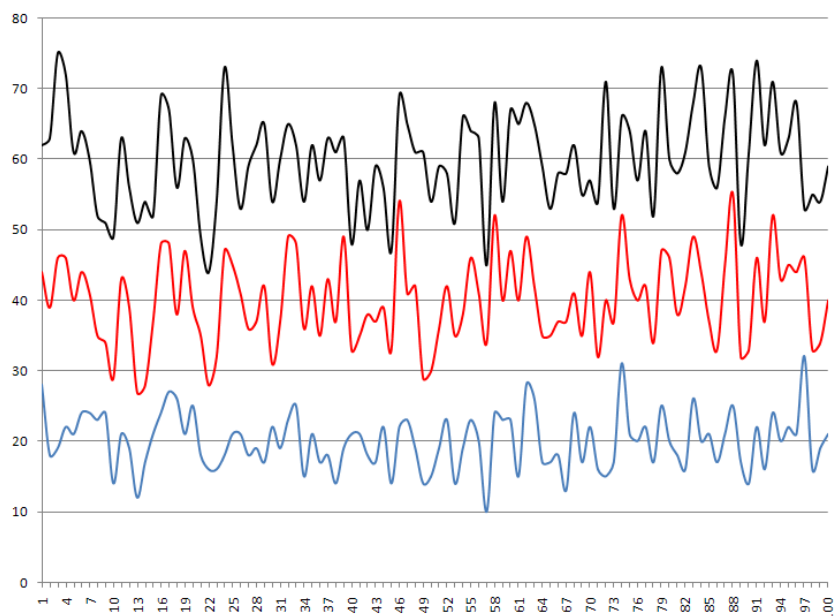


Рисунок 1. Моделирование роста шероховатости поверхности с течением времени.

Задача вычисления вероятности пробоя (задача Карди [2]) обычно сводится к задаче возникновения перколяционного кластера на квадратной решетке, заполненной случайным образом элементами (например 0 и 1). В работе предложен алгоритм объединения метода случайного осаждения и метода кластерного анализа задачи Карди: первый столбец квадратной решетки заполняется не случайным образом, а формируется на основании данных расчета случайного осаждения. Таким образом вероятность пробоя существенно зависит от роста шероховатости. Далее перколяционный кластер вычисляется методом «прожига» [3].

Список литературы

1. Паташинский А.З, Покровский В.Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. – М: Наука, 1982
2. Эфрос А.Л. Физика и геометрия беспорядка. – Библиотека «Квант». – М: Наука, 1982.
3. Булавин Л.А., Выгорницкий Н.В., Лебовка Н.И. Компьютерное моделирование физических систем. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011.