ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

УДК 537.525

DOI: 10.17223/00213411/68/7/1

Критерии и динамика электрического пробоя газонаполненного диода на левой ветви кривой Пашена*А.В. Козырев¹, Н.С. Семенюк¹¹ *Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия*

Представлены результаты теоретического анализа пороговых давлений и напряжений, обеспечивающих пробой плоскопараллельного промежутка, заполненного азотом низкого давления. Выявлены три подхода к расчету пороговых давлений: 1) на основе коэффициента ионизации газа Таунсенда, 2) на основе диода с плазменным катодом и 3) на основе диода с автоэмиссионным катодом. Два первых подхода дают оценку пороговых давлений сверху и снизу, а третий позволяет уточнить условия пробоя между этими границами критических областей. Проведен расчет пространственно-временной динамики развития разряда с автоэмиссионным катодом, который продемонстрировал, что при пороговых параметрах давления и напряжения газовый разряд низкого давления формируется за время до 100 нс. Показано хорошее согласие предсказаний пороговых критериев с кинетическими расчетами динамики разряда.

Ключевые слова: *электрический пробой газа, разряд низкого давления, моделирование газового разряда.*

Введение

Работа посвящена исследованию фундаментальных механизмов инициирования газового разряда низкого давления. Под низким давлением здесь подразумеваются такие ситуации, когда средняя длина свободного пробега частиц сравнима или больше геометрического размера промежутка. Разряд низкого давления занимает промежуточное положение между классическим тлеющим разрядом с объемной лавинообразной ионизацией рабочего газа [1] и вакуумным разрядом, горящим в парах электродов [2]. Разряды низкого давления используются широким спектром плазменных устройств и технологических приложений. Это источники электронных или ионных пучков с плазменным эмиттером [3–5], магнетронные разряды и распылительные системы [6, 7], коммутрующие приборы [8–10], системы плазменной обработки деталей с большим объемом [11, 12].

Ключевым процессом в исследовании газового разряда является электрический пробой газонаполненного промежутка, в котором происходит быстрый переход от непроводящего состояния промежутка к состоянию с высокой электрической проводимостью. Этот процесс определяет стартовые режимы работы в технических приложениях газоразрядной плазмы [8–11], но может быть крайне нежелательным, если промежуток используется в качестве электрического изолятора, например, в электрических передающих линиях. Основным параметром электрического пробоя является время его протекания, которое определяет как продолжительность включения газоразрядных приборов, так и необходимые требования к предохранителям, защищающим электрические цепи от короткого замыкания цепи питания.

Цель исследования – теоретический анализ пороговых условий, при которых может инициироваться пробой плоскопараллельного промежутка, заполненного газом низкого давления, и расчет временной динамики его проводимости в области пороговых значений приложенного к диоду напряжения.

Разные подходы к вычислению пороговых напряжений пробоя

Базой для расчета пороговых напряжений пробоя традиционно являются кривые Пашена [1], расчет которых основан на критерии самоподдержания разряда, выражающем баланс процесса лавинного размножения электронов в объеме и обратной связи за счет вторичной ион-электронной

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 23-72-01005.