УРАВНЕНИЕ ПЛАЗМЫ И СЛОЯ ДЛЯ НЕМАКСВЕЛЛОВСКОЙ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ЭНЕРГИЯМ

Двинин С.А., 1Солихов Д.К., 1Кодирзода З.А.

Московский государственный университет, г. Москва, Россия, dvinin@phys.msu.ru
1Таджикский национальный университет, г. Душанбе, Таджикистан, davlat56@mail.ru

В технологических установках микроэлектроники очень часто используется газовый разряд низкого давления, плазма которого описывается в рамках модели уравнения плазмы и слоя Ленгмюра и Тонкса [1], или его обобщения, дополнительно учитывающего перезарядку [2]. В [1, 2] предполагалось, что функция распределения электронов по энергиям *fe* (ФРЭЭ) Максвелловская, и электроны находятся в равновесии с амбиполярным полем. Численные расчеты [3] показывают, что вид ФРЭЭ может существенно влиять на потенциал плазмы и пространственное распределение электронной плотности. В данной работе рассматривается самосогласованное решение кинетического уравнения для электронов и уравнения Пуассона для амбиполярного поля в режиме свободного пробега ионов на стенку.

Движение ионов описывается в соответствии с классическим уравнением Ленгмюра и Тонкса [1]. В модели предполагается, что электроны в результате ионизации рождаются с нулевой скоростью. Нагрев электронов происходит за счет пропускания ВЧ или постоянного тока вдоль оси разряда. Упругие столкновения электронов с атомами приводят к диффузии и дрейфу электронов по оси энергий и локальной (в месте столкновения) изотропизации ФРЭЭ. Рассмотрены плоский и цилиндрический плазменные столбы. Так же как и в [1, 2] предполагается, что распределение амбиполярного потенциала ϕ по направлению к границе монотонно. Ниже записаны уравнения для плоской геометрии.

,

.

Использованы обозначения: *x*, *y*, *z*, *Vx*, *Vy*, *Vz* — координаты и скорости электронов, *e*> 0 — элементарный заряд, *m*, *M* — массы электронов и ионов, *Zi*(*x*) – число ионизаций в объеме *dxdydz* в окрестности точки *x, I*(***V****,x*) — интеграл столкновений электронов, включающий ионизирующие и упругие столкновения. На границах разряда *x*= ±*L* выполняются условия равенства потоков электронов и ионов.

Дальнейшее упрощение уравнения основано на различии характерных времен осцилляций электронов в потенциальной яме τ1, изотропизации ФРЭЭ τ2 и дрейфа электронов по оси энергий в результате упругих столкновений τ3. Для получения аналитического решения распределение потенциала в области плазмы представляется в виде степенного ряда. На оси энергий выделяются области амбиполярной потенциальной ямы, потенциальной ямы, создаваемой слоем пространственного заряда и область ионизации.

Расчеты показывают, что вид ФРЭЭ слабо влияет на значение частоты ионизации в плазме, однако существенно влияет на разность потенциалов плазмы и стенки.

Литература

1. Langmuir I., Tonks L. Phys. Rev., 1929, **34**, 876.
2. Двинин С.А., Довженко В.А., Кузовников А.А. Физика плазмы, 1999, **25**, 882.
3. Tarakanov V.P., Shustin E.G. Vacuum, 2015, **113**, 59.