Эмиссионные свойства контакта плазмы с электродом с тонкой диэлектрической пленкой на поверхности

К.М. Гуторов, И.В. Визгалов, Ф.С. Подоляко, И.А. Сорокин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия, gutorov.k@gmail.com

Наличие тонкой диэлектрической пленки на поверхности погруженного в плазму электрода может приводить к увеличению эмиссионной способности поверхности в десятки раз, что было показано в работах [1, 2]. Вольтамперная характеристика такого электрода имеет N-образную форму с участком отрицательного дифференциального сопротивления. На практике наиболее интересна область отрицательных смещений электрода – здесь можно выделить горизонтальную «полочку» с нулевым током вблизи плавающего потенциала, соответствующую перезарядке пленки, следующую за ней почти вертикальную область резкого нарастания тока, оптимальную для стабилизации разряда, область отрицательного дифференциального сопротивления, в которой возможны автоколебательные режимы. Для расчета режимов разряда или определения состояния поверхности электрода необходима численная модель ВАХ, правильно описывающая все наблюдаемые в эксперименте эффекты.

Модель для численного расчета ВАХ погруженного в плазму электрода с тонкой диэлектрической пленкой на поверхности основана на определении равновесного потенциала поверхности пленки и соответствующих токов для каждого значения потенциала электрода. В балансе токов участвуют токи ионов и электронов плазмы, токи вторичной ион-электронной и электрон-электронной эмиссии, ток электронов сквозь пленку с механизмом эмиссии Фаулера-Нордгейма. Электроны плазмы моделируются тремя группами, что соответствует условиям пучково-плазменного разряда: первичные электроны пучка, электроны плазмы с максвелловским распределением и группа надтепловых электронов. Основные входные расчетные параметры – плотность и температура плазмы, энергия и ток первичного электронного пучка, толщина пленки – определяются экспериментально. Модель отрабатывалась на хорошо изученном материале – пленка собственного оксида на алюминиевом электроде, для которого известны все коэффициенты для расчета вторичной и полевой эмиссии. Расчет вторичной эмиссии производится с учетом распределения частиц по энергиям и их пробега в материале.

Сравнение результатов расчетов с экспериментально измеренными ВАХ осложняется несколькими факторами: необходимо охватить большой диапазон потенциала электрода от небольшого положительного до превышающего энергию первичных электронов отрицательного, параметры плазмы значительно меняются в условиях протекания больших токов в цепи исследуемого электрода, необходимо избегать колебательных режимов или восстанавливать ВАХ по фазовым траекториям колебаний. Для получения детальной ВАХ применялась комбинация из двух источников питания: импульсного высоковольтного (диапазон от 0 до -2 кВ) и низковольтного с плавным переходом через ноль (от -100 до +100 В) с последующей сшивкой результатов. В области больших токов корректировались плотность и температура плазмы по усредненным данным с зондовой диагностики. Расчетная ВАХ хорошо воспроизводит все наблюдаемые в эксперименте эффекты и положение максимумов и переломов по шкале напряжений.

Работа поддерживается грантом РФФИ № 13-02-01244.

Литература

1. Гуторов К.М., Визгалов И.В., Маркина Е.А., Курнаев В.А. // Известия РАН. Серия физическая, 2010, Т. 34, №2, стр. 208-211.
2. Гуторов К.М., Визгалов И.В., Курнаев В.А. // Прикладная физика, № 6, 2011, с. 87-90.