

О Т З Ы В

на диссертационную работу Савина Василия Николаевича на тему: «Механизмы зарядки пылевых частиц в плазме разряда с учетом эмиссии электронов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 «Физическая электроника»

Актуальность исследуемой В.Н. Савиным проблемы обусловлена необходимостью использования информации о свойствах плазменно-пылевых структур в технологических процессах производства энергии и полупроводниковых материалов. Изучение пылевой плазмы и условий образования пылевых самоорганизующихся структур наиболее полно происходит в искусственно полученной лабораторной плазме. Наиболее важной при этом является задача зарядки пылевых частиц и учет влияния эмиссионных процессов электронов с поверхности этих частиц, информация о которых в литературе в настоящее время практически отсутствует. Актуальным поэтому является разработка универсального метода расчета заряда пылевых частиц, учитывающего все виды эмиссионных процессов (вторичную, ионно-электронную, фото- и термоавтоэлектронную) с учетом влияния шероховатости поверхности этих частиц.

На основе комплексных теоретических исследований положительного столба тлеющего разряда с учетом потенциала (заряда) на основе уравнений баланса заряда и энергии на поверхности пылевой частицы и влияния столкновений ионов с атомами и ионизации при использовании ячеечной модели Зейтца-Вигнера, диссертантом получен ряд **новых научных результатов**.

- Впервые предложена математическая модель расчета заряда пылевой частицы, включающая уравнения баланса заряда и энергии на поверхности плазменно-пылевой частицы, позволившая учесть влияние вторичной, ионно-

электронной, фото- и термоавтоэлектронной эмиссий, шероховатости поверхности и теплообмена компонент плазмы с поверхностью частицы.

– Впервые предложена модель ионного тока, позволяющая решить задачу с учетом перезарядки ионов на атомах, ионизации атомов и эмиссии электронов с поверхности пылевых частиц.

– Впервые разработан метод оптимизации с учетом изменения параметров плазмы на границе ячейки Зейтца-Вигнера, позволяющий определить размер зоны возмущения и распределения параметров плазмы в выбранной области.

– Впервые учтено влияние эмиссионных процессов при анализе вольт-амперных характеристик цилиндрических и сферических зондов.

Комплексное рассмотрение влияния эмиссионных процессов на заряд пылевой частицы в широком диапазоне плазменных параметров позволило утвердить, что наиболее существенное влияние из эмиссионных процессов оказывает вторичная эмиссия для упруго отраженных и истинно вторичных электронов; влияние эмиссии на заряд пылевой частицы является значительным и может привести к смене заряда пылевой частицы.

Показано, что влияние термоэмиссии становится существенным при достаточно сильном нагреве поверхности пылевой частицы, которое достигается при высоких значениях концентрации заряженных частиц невозмущенной плазмы, низкими значениями давления и интегральной поглощательной способности.

Показано, что шероховатости поверхности влияют на распределение плазменных параметров. С увеличением степени шероховатости значения плазменных распределений стремятся к значениям как для гладкой пыльной частицы без учета эмиссии. Данное обстоятельство объясняется затруднением эмиссии электронов при увеличении степени шероховатости.

Установлено, что шероховатость поверхности приводит к уменьшению влияния эмиссии в целом. Увеличение шероховатости ведет к росту коэффициентов аккомодации ионов и атомов и тем самым к уменьшению

температуры поверхности частицы, что приводит к подавлению термоэмиссии. Влияние термоэмиссии существенно, когда разогрев пылевых частиц становится значительным. Автоэмиссия существенна для малых пылевых частиц.

Представлены радиальные распределения плазменных параметров $N_i(S)$, $N_e(s)$, $\eta(s)$, $|U_i(S)|$ с учетом вторичной, ионно-электронной, фото- и термоэлектронной эмиссии. Показано, что с ростом частоты ионизации размер области возмущения уменьшается; уменьшение концентрации и скорости ионов свидетельствует о тормозном влиянии столкновений на поток ионов; абсолютное значение потенциала при этом увеличивается вследствие уменьшения плотности потока электронов.

Представлены радиальные распределения нормированных концентраций ионов и электронов, абсолютных значений потенциала и радиальной скорости ионов. Установлен факт, демонстрирующий переход от уединенной частицы к плотной плазменно-пылевой структуре. Показано, что с ростом частоты ионизации распределения параметров в ячейке изменяются; при достаточно высокой ионизации радиус Дебая превышает размер ячейки Зейтца-Вигнера и квазинейтрального подслоя в ячейке не остается. Влияние эмиссионных процессов на подзаряд частицы в плазменно-пылевом образовании аналогичен влиянию для усредненной частицы.

Проведено сравнение результатов расчета заряда по предложенной модели с аналогичными моделями других авторов и экспериментальными данными. Наблюдается хорошее согласие результатов теорий и эксперимента.

Практическая значимость работы определяется тем, что в ней получена новая информация о процессе зарядки пылевых частиц с учетом эмиссионных процессов, необходимая при проведении теоретических исследований и анализа экспериментальных данных в области физики пылевой плазмы, физики плазмы, зондовой диагностики плазмы, технологических процессов с использованием плазменно-пылевых структур.

К недостаткам работы следует отнести недостаточность информации об экспериментальном подтверждении теоретических зависимостей.

Отмеченные недостатки не влияют на положительную оценку диссертационного исследования Савина Василия Николаевича в целом, являющегося завершённым исследованием, выполненным на высоком научном уровне.

Полученные в диссертации результаты представляют собой существенный вклад в развитие теории о процессе зарядки пылевых частиц и условий формирования устойчивых плазменно-пылевых самоорганизующихся структур, значительно расширили возможности зондовой методики диагностики невозмущенной плазмы при наличии эмиссионных процессов на поверхности зонда.

Диссертация Савина В.Н. отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника, а ее автор Савин Василий Николаевич является сформировавшимся квалифицированным специалистом и заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, зав. кафедрой общей и теоретической физики и МПФ

В.А. Степанов

390000, г.Рязань,
ул. Свободы, д. 46
Тел. +7 (4912) 28-05-28
e-mail: vl.stepanov@rsu.edu.ru

