

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Машека Игоря Чеславовича на диссертацию Закарьяевой Мадины Закарьяевны на тему «Пространственно-временная динамика ионизационных процессов в наносекундных разрядах в инертных газах с протяженным полым катодом», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9. Физика плазмы.

Работа Закарьяевой М.З. посвящена исследованию динамики развития ионизационных процессов в наносекундных газовых разрядах с протяженным полым катодом в инертных газах при средних давлениях и разработке цифровых моделей широкоапертурных плазменных источников на основе наносекундных газовых разрядов. Актуальность данного исследования определяется необходимостью разработки высокоэффективных и технологически надежных плазменных реакторов для плазменных технологий атомно/молекулярно-слоевого осаждения и атомно-слоевого травления. В таких реакторах использование газовых разрядов с полым катодом различных конфигураций, в которых, наряду с вторичными медленными плазменными электронами, формируется группа быстрых электронов является наиболее перспективным.

При выполнении работы диссертантом экспериментально исследована пространственно-временная динамика развития ионизационных процессов в наносекундных разрядах с протяженным полым катодом в инертных газах (гелии, неоне и аргоне) в диапазоне давлений газа 1-40 Тор. Показано, что пространственная структура разряда формируется в течение примерно 100 нс после начала импульса тока разряда. Получена плазменная конфигурация в виде «плазменного листа» с использованием высокоэнергетичных электронов, возникающих в наносекундном разряде с протяженным щелевым катодом. Показана возможность использования такой плазменной конфигурации в качестве широкоапертурного источника низкоэнергетичных ионов. В гидродинамическом приближении построена и реализована численная модель развития ионизационных процессов в импульсных разрядах с протяженными полыми катодами с различной конфигурацией полости внутри катода. Для плазменного столба наносекундного разряда с протяженным полым катодом построена и реализована самосогласованная численная модель расчета ФРЭЭ в двухчленном приближении в условиях слабой анизотропии. Показано, что катод с прямоугольной полостью позволяет получить однородный плоский плазменный столб по центру промежутка с высокой концентрацией заряженных частиц и что при амплитудах импульсов напряжения около 1 кВ внутри прямоугольной полости катода фронт волны ионизации разделяется на две части, распространяющихся вдоль боковых поверхностей полости, что приводит к формированию плазменного столба в полости и в разрядном промежутке.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что цели, поставленные в работе достигнуты полностью.

Диссертация Закарьяевой Мадины Закарьяевны на тему: «Пространственно-временная динамика ионизационных процессов в наносекундных разрядах в инертных газах с протяженным полым катодом» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Закарьяева Мадина Закарьяевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9. Физика плазмы. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета

д.ф.-м.н, доцент, профессор СПбГУ  
Дата 5.05.2023



И.Ч.Машек

33-06-563 от 10.05.2023