

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Машерова Павла Евгеньевича

«Разработка космического источника ионов на основе высокочастотного ионного двигателя», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

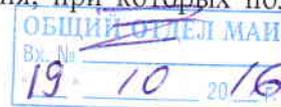
Диссертационная работа Машерова П.Е. посвящена актуальной теме создания космического источника ионного пучка для увода объектов космического мусора с геостационарной орбиты. Предметом исследования в работе является высокочастотный источник ионов с индукционным газоразрядным узлом и щелевой ионно-оптической системой, формирующей сколлимированный клиновидный ионный пучок.

Научная новизна работы заключается в том, что диссертант разработал высокочастотный источник ионного пучка (ВЧИИП) с плоским индуктором и ферритовым сердечником, а также со щелевой ионно-оптической системой; который обладает высокой энергетической эффективностью и малым полууглом расходимости ионного пучка, угол расходимости не превысил 3 градусов.

Также стоит отметить разработку нового способа интегральной диагностики газоразрядного узла, позволяющий детализировать баланс ВЧ-мощности ВЧИИП и выявить качество технических решений и исполнения всех элементов газоразрядного источника плазмы.

Разработан зондовый способ измерений массы ионов плазмы и толщины зондового слоя в невозмущённой максвелловской плазме. Предложен способ количественной оценки близости экспериментальной плазмы к максвелловской среде. Предложены способ и устройство для оценки плотности ионного тока на эмиссионный электрод (ЭЭ) ионно-оптической системы (ИОС) источника ионов. Получен безразмерный критерий оценки соотношения размеров собирающей поверхности зонда и поверхности зондодержателя, позволяющий снизить погрешность измерений зондами Ленгмюра.

Разработана и испытана ИОС из трёх плоских электродов со щелевыми отверстиями, позволяющая сформировать клиновидный пучок с малым углом расходимости, что обеспечило применимость ВЧИИП для решения космических задач за счет высокой степени равномерности плазменного образования внутри газоразрядного объёма. Расчётным путём определены зависимости угла расходимости от приведённого первеанса ионного пучка и найдены его оптимальные значения, при которых полуугол



расходимости поперёк щелей не превышает 3 градусов. Измерение расходимости ионного пучка по следам эрозии титановой и стеклянной мишеней подтвердило хорошее согласие расчётных и экспериментальных данных.

Практическая и теоретическая значимость результатов работы

Разработана и проведена отработка конструкции лабораторного ВЧИИП с металлической камерой, обеспечивающей эффективную диагностику локальных параметров плазмы и возможность контроля её давления. Использование плоского индуктора с ферритовым сердечником обеспечило повышенную энергоэффективность ВЧИИП. Плоские электроды ИОС со щелевыми отверстиями улучшили фокусировку ионного пучка.

Разработана и реализована методика интегральной диагностики ВЧ-индукционного газоразрядного узла ВЧИИП, которая позволила оценить его операционные и конструктивные параметры, определяющие физико-технический облик изделия, включая степень совершенства его конструкции и схемотехники линии электропитания разряда.

Проведена диагностика локальных параметров плазмы в ГРК, выявлена высокая степень равномерности параметров плазмы в ГРК. Устранение влияния размера зондодержателя позволило повысить точность измерений плазменных параметров.

Обеспечена возможность зондовых измерений толщины зондового слоя и массы ионов плазмы для корректного выбора зондовой теории, используемой для интерпретации результатов измерений.

Предложен и апробирован способ и устройство для оценки плотности ионного тока на ЭЭ ИОС. Полученная точность оценки позволяет использовать результаты при проектировании ИОС.

Плоские электроды ИОС вкупе с ВЧИИП, оснащённым плоским электродом с ферритовым сердечником, позволили получить сколламированный пучок.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов, научных положений и сделанных выводов достигнута новыми методическими разработками, эффективностью их реализации, согласием экспериментальных и расчётных данных, а также непротиворечивостью полученной информации с аналогичными данными других авторов.

По автореферату можно сделать следующие замечания:

1) Диссертант приводит формула (2) для электронного тока насыщения. Данное выражение справедливо для разреженной плазмы, в которой размер слоя объемного заряда намного меньше характерного линейного размера зонда (плоский случай). Автору следовало бы привести иерархию пространственных масштабов (длина свободного пробега, размер зонда, радиус Дебая) для удобства читателя.

2) Диссертант ничего не говорит о методе измерения ФРЭЭ. Данный вопрос является важным, так как сильное отклонение от ФРЭЭ делает невозможным применение выражения (2) для тока насыщения. Кроме того, классическое измерение ФРЭЭ представляет сложность, связанную с двукратным дифференцированием экспериментально измеренного тока, что дает большую погрешность. Если же автор использовал некие ухищрения, например, к постоянному напряжению добавлял небольшую гармоническую составляющую (в этом случае искомая вторая производная пропорциональна приросту тока), тогда об этом следовало бы упомянуть.

3) Диссертант использует измеренную ФРЭЭ для качественного и количественного анализа на предмет близости к функции распределения Максвелла. При этом не приводится критерий близости полученного распределения к максвелловскому.

4) Диссертант приводит выражение для толщины зондового слоя (стр.12). Для определения ионного тока насыщения обычно используют большой отрицательный потенциал, который может быть на порядок больше электронной температуры, чтобы ограничить электронный ток. В этом случае толщина ионного слоя может сильно превосходить радиус Дебая, и оказаться одного порядка с характерным линейным размером зонда. Тогда интерпретация результатов отличается от плоского случая. Автору следовало бы привести соотношение полученных толщин слоя и характерного размера зонда.

Результаты работы докладывались на Всероссийских и международных конференциях, и достаточно полно отражены в 21 публикациях.

Заключение

В целом, представленный в автореферате диссертации материал свидетельствует о высоком научном уровне работы и новизне полученных результатов.

Диссертационная работа, выполненная Машеровым Павлом Евгеньевичем, по своей актуальности, научной новизне и практической значимости отвечает требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени

кандидата технических наук, а её автор Машеров Павел Евгеньевич безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Отзыв составил:

Заведующий лабораторией № 4.1.2 – электрофизики и плазменных процессов Научно-исследовательского центра электрофизики и тепловых процессов (НИЦ-4 ЭФТП) ОИВТ РАН, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник

Терешонок Дмитрий Викторович

125412, г. Москва, Ижорская ул. 13, стр. 2, (495) 485-96-66, tereshonokd@gmail.com

Ученый секретарь ОИВТ РАН д.ф.-м.н.

Амиров Р.Х.

125412, г. Москва, Ижорская ул. 13, стр. 2, (495) 485-90-09, amirovravil@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур (ОИВТ РАН) 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2, (495) 485-82-44, webadmin@ihed.ras.ru