



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН)

по диссертации Веселова Алексея Павловича «Пробой газа в сфокусированных пучках электромагнитных волн субмиллиметрового диапазона» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.9. Физика плазмы.

Работа выполнена в лаборатории прикладной физики плазмы (123), отдел физики плазмы (120) Отделения физики плазмы и электроники больших мощностей Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Научный руководитель – Сидоров Александр Васильевич, старший научный сотрудник ИПФ РАН, кандидат физико-математических наук.

В 2019 г. соискатель ученой степени окончил магистратуру в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" по направлению подготовки/ специальности 03.04.02 Физика.

В период с 01.09.2019 по 31.08.2023 обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Свидетельство об окончании аспирантуры № 105200 00000007 от 10 июля 2023 года.

В период подготовки диссертации соискатель Веселов Алексей Павлович работал младшим научным сотрудником лаборатории прикладной физики плазмы (123), отдела физики плазмы (120) в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Личное участие аспиранта в получении результатов, изложенных в диссертации

Автор внес основополагающий вклад в получение результатов, представленных в диссертации. Постановка задач и анализ полученных результатов проводились совместно с научным руководителем А.В. Сидоровым при участии А.В. Водопьянова, С.В. Голубева и С.В. Разина.

Научная новизна и основные результаты диссертационного исследования

В виду того, что общее количество работ по тематике ТГц разрядов насчитывается единицами, результаты, полученные в диссертации, являются абсолютно новыми, а большое количество экспериментальных результатов послужат хорошим основанием для дальнейших исследований в области взаимодействия мощного ТГц с веществом. Также впервые были исследованы особенности распространения ТГц разряда.

Показано, что в случае пробоя инертных газов ТГц излучением больших мощностей потерями энергии электрона на возбуждение нейтралов можно пренебречь. Данное предположение было подтверждено экспериментально при пробое излучением длительностями 100пс. Характерные величины электрических полей, при этом, достигают величин порядка 1МВ/см.

Было показано, что при пробое тяжёлых инертных газов при умеренных мощностях излучения необходимо учитывать неупругие потери энергии электрона на возбуждение нейтралов. Пробойные поля в этом случае величин 10 000- 60 000В/см.

Было показано, что в случае пробоя импульсным греющим излучением необходимо учитывать малость длительности импульса. Продемонстрировано, что в случае ТГц частот, импульс можно считать коротким при длительностях меньше 1мкс.

Продемонстрировано, что в случае пробоя, инициированного созданием предплазмы, пробойные условия сильно упрощаются за счёт смены механизма диффузии электронов на амбиполярный.

Продемонстрировано, что для инертных газов скорость распространения спадает с ростом давления и зависит от массы газа. Скорость распространения достигает сверхзвуковых величин и оказывается тем больше, чем легче газ.

Продемонстрировано, что резкая смена скорости распространения в инертных газах может быть объяснена выходом фронта разряда из области надпробойных в область допробойных полей, и, как следствие, сменой механизма распространения. В области надпробойных полей распространение ТГц разряда в инертных газах объясняется волной диффузии с характерными скоростями $10^6 - 10^7$ см/с, в то время как в области допробойных полей распространение происходит из-за упрощения выполнения разрядных условий из-за поглощения УФ излучения плазмы разряда со скоростями $10^5 - 10^6$ см/с.

Показано, что распространение разряда в молекулярных газах имеет сверхзвуковой неравновесный характер со скоростями порядка $10^4 - 10^5$ см/с

Показано, что в области плотностей энергии меньших чем 1кВт/см² реализуется механизм медленного горения со скоростями меньшими скорости звука, а распространение разряда имеет равновесный характер.

Практическая и теоретическая значимость результатов исследования

В работе показано, что в плазме ТГц разряда достигаются высокие концентрации образуемой плазмы и высокие температуры электронов, что вместе с высокой степенью её неравновесности приводит к тому, что такие разряды могут быть применены для различных плазмохимических приложений.

Неравновесные разряды, поддерживаемые греющим излучением ТГц частот, так же могут быть использованы в качестве точечного источника ВУФ излучения. Результаты исследования по распространению разрядов легли в основу работ по созданию сложных газодинамических мишеней в установках для фотолитографии.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Высокая степень достоверности результатов проведенных исследований обеспечивается использованием надёжных физических моделей. Результаты теоретических расчётов сопоставлялась с результатами, полученными экспериментально на нескольких экспериментальных установках, а также с результатами, полученными ранее другими авторами. Результаты, полученные в данной диссертации были апробированы как на всероссийских, так и международных конференциях. Более того, результаты, полученные в ходе данной работы, легли в основу 27 публикаций.

Список основных публикаций автора:

1. Sidorov A., Golubev S., Razin S., Veselov A., Vodopyanov A., Fokin A., Luchinin A., Glyavin M. Gas discharge powered by the focused beam of the high-intensive electromagnetic waves of the terahertz frequency band // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2018. – Vol. 51, № 46. – P.464002.

2. Sidorov A., Razin S., Veselov A., Vodopyanov A., Morozkin M., Glyavin M. Breakdown of the heavy noble gases in a focused beam of powerful sub-THz gyrotron // Phys. Plasmas. – 2019. – Vol. 26, №8. – P. 083510.

3. Sidorov A., Razin S., Veselov A., Viktorov M., Vodopyanov A., Luchinin A., and Glyavin M., Dynamics of the gas discharge in noble gases sustained by the powerful radiation of 0.67 THz gyrotron, // Physics of Plasmas. – 2020. – Vol.27, №9. – P. 093509.

4. Barmashova T., Sidorov A., Vodopyanov, A., Luchinin A., Murzanev A., Razin S., Stepanov A., Veselov A. Study of THz Gas Discharge Spatial Dynamic in Argon // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. – 2023. – Vol. 13 №1. – P. 3-9.

5. Сидоров А., Веселов А., Водопьянов А., Кубарев В., Горбачев Я., Шевченко О. Особенности пробоя тяжелых инертных газов в сфокусированном пучке излучения Новосибирского лазера на свободных электронах // Письма в журнал технической физики. – 2023. – Вып.3. – С. 19-21.

6. Веселов А., Сидоров А., Калынов Ю., Водопьянов А. Пробой тяжелых инертных газов импульсом электромагнитного излучения гиротрона частотой 1THz // Письма в журнал Технической физики. – 2023. – Вып. 6. – С. 35-38.

7. Sidorov A. Veselov A., Rakova E., Barmashova T., Vodopyanov A., Ananichev A., Glyavin M. Ionization wave in air under the action of powerful radiation of the terahertz frequency range // St. Petersburg Polytechnic University Journal. Physics and Mathematics. – 2023. – Vol. 16, №1.2. – P. 8-20.

Стоит отметить, что все вышеперечисленные работы являются совершенно новыми, так как выполнены на уникальных установках с ранее недостижимыми параметрами и

относятся к малоизученной области знаний взаимодействия мощного терагерцового излучения с веществом.

Ссылки на источники заимствования материалов или отдельных результатов выполнены корректно.

Научная специальность, которой соответствует диссертация: 1.3.9. Физика плазмы.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертация соответствует критериям, установленным в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 23 августа 1996 года № 127-ФЗ "О науке и государственной научно-технической политике".

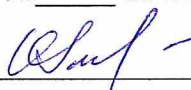
Диссертация «Пробой газа в сфокусированных пучках электромагнитных волн субмиллиметрового диапазона» Веселова Алексея Павловича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.9. Физика плазмы.

Настоящее заключение составлено на основании решения Ученого совета отделения физики плазмы и электроники больших мощностей по проведению итоговой аттестации по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности: 1.3.9. Физика плазмы.

Присутствовало на заседании 19 чел.

Результаты голосования: «за» — 19 чел., «против» — 0 чел., «воздержалось» — 0 чел.

протокол № 2 от « 26 » июня 2023 г.



Моченева Ольга Станиславовна,
кандидат физико-математических наук,
Учёный секретарь отделения физики плазмы и
электроники больших мощностей, научный
сотрудник отд. 170

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»

ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА ЗАСЕДАНИЯ УЧЕНОГО СОВЕТА
ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ И ЭЛЕКТРОНИКИ БОЛЬШИХ МОЩНОСТЕЙ
ПО ПРОВЕДЕНИЮ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ПРОГРАММАМ ПОДГОТОВКИ
НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ

№ 2 от 26 июня 2023 года

Присутствовали: 19 из 27 членов Ученого совета

Слушали:

Аспиранта Веселова Алексея Павловича

Тема диссертации:

«Пробой газа в сфокусированных пучках электромагнитных волн субмиллиметрового диапазона»

Научная специальность: 1.3.9. Физика плазмы

Научный руководитель Сидоров Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ИПФ РАН

Заключение по диссертации:

Диссертация соответствует критериям, установленным в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 23 августа 1996 года № 127-ФЗ "О науке и государственной научно-технической политике".

Диссертация рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности:

1.3.9. Физика плазмы

(код и наименование научной специальности)

Результаты голосования:

«за» - 19 чел.,

«против» - 0 чел.

Председатель Ученого совета  В.А. Скальга

Секретарь Ученого совета  О.С. Моченева