

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 003.031.01, созданный на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, извещает о результатах состоявшейся 08 июня 2018 года публичной защиты диссертации Фроловой Валерией Петровной на тему: «ГЕНЕРАЦИЯ МНОГОЗАРЯДНЫХ И МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ НА ОСНОВЕ СИЛЬНОТОЧНОЙ ВАКУУМНОЙ ДУГИ МИКРОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Время начала заседания: 15.00

Время окончания заседания: 16.45

На заседании диссертационного совета присутствовали 20 человек из 24 членов диссертационного совета, из них 5 докторов наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника:

- |  |           |          |
|--|-----------|----------|
| 1. Королёв Юрий Дмитриевич – зам. председателя диссертационного совета | д.ф.-м.н. | 05.27.02 |
| 2. Рыжов Виктор Васильевич – ученый секретарь диссертационного совета  | д.ф.-м.н. | 05.27.02 |
| 3. Багров Владислав Гаврилович – член совета                           | д.ф.-м.н. | 01.04.04 |
| 4. Иванов Юрий Фёдорович – член совета                                 | д.ф.-м.н. | 01.04.04 |
| 5. Ким Александр Андреевич – член совета                               | д.т.н.    | 05.27.02 |
| 6. Коваль Николай Николаевич – член совета                             | д.т.н.    | 05.27.02 |
| 7. Козырев Андрей Владимирович – член совета                           | д.ф.-м.н. | 05.27.02 |
| 8. Кошелев Владимир Ильич – член совета                                | д.ф.-м.н. | 01.04.04 |
| 9. Ломаев Михаил Иванович – член совета                                | д.ф.-м.н. | 01.04.04 |
| 10. Озур Григорий Евгеньевич – член совета                             | д.т.н.    | 05.27.02 |
| 11. Окс Ефим Михайлович – член совета                                  | д.т.н.    | 05.27.02 |
| 12. Пегель Игорь Валериевич – член совета                              | д.ф.-м.н. | 01.04.04 |
| 13. Ремпе Николай Гербертович – член совета                            | д.т.н.    | 05.27.02 |
| 14. Ростов Владислав Владимирович – член совета                        | д.ф.-м.н. | 01.04.04 |
| 15. Ротштейн Владимир Петрович – член совета                           | д.ф.-м.н. | 05.27.02 |
| 16. Соснин Эдуард Анатольевич – член совета                            | д.ф.-м.н. | 05.27.02 |
| 17. Тарасенко Виктор Федотович – член совета                           | д.ф.-м.н. | 05.27.02 |
| 18. Шемякин Илья Александрович – член совета                           | д.ф.-м.н. | 05.27.02 |
| 19. Усов Юрий Петрович – член совета                                   | д.т.н.    | 05.27.02 |
| 20. Юшков Георгий Юрьевич – член совета                                | д.т.н.    | 05.27.02 |

**Заседание вел заместитель председателя диссертационного совета доктор физико-математических наук, профессор Королёв Юрий Дмитриевич.**

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 20, против – нет, недействительный бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить Фроловой В.П. учёную степень кандидата физико-математических наук.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.031.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ  
СИЛЬНОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

**аттестационное дело № \_\_\_\_\_**

**решение диссертационного совета от 08.06.2018 г. № 44**

**О присуждении Фроловой Валерии Петровне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.**

**Диссертация "Генерация многозарядных и многокомпонентных импульсных ионных пучков на основе сильноточной вакуумной дуги микросекундной длительности" по специальности 01.04.04 – физическая электроника принята к защите 26 марта 2018 г. (протокол заседания № 43) диссертационным советом Д 003.031.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, 634055, гор. Томск, проспект Академический, 2/3, приказ № 105/нк от 11 апреля 2012 г.**

**Соискатель Фролова Валерия Петровна, 1990 года рождения.**

**В 2013 году соискатель окончила с отличием Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный**

исследовательский Томский государственный университет", в 2016 году - очную аспирантуру ФГБУН Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, работает младшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники" Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Диссертация выполнена в** лаборатории плазменных источников Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук и на кафедре физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель – доктор технических наук** Юшков Георгий Юрьевич, ФГБУН Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория плазменных источников, ведущий научный сотрудник.

**Официальные оппоненты:**

Паперный Виктор Львович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский государственный университет", кафедра общей и космической физики, заведующий кафедрой;

Ремнёв Геннадий Ефимович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Томский политехнический университет", лаборатория "Импульсно-пучковые, электроразрядные и плазменные технологии" Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов, заведующий лабораторией.

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук, гор. Екатеринбург, **в своём положительном отзыве, подписанном** Гавриловым Николаем Васильевичем, доктором технических наук, членом-корреспондентом Российской академии наук, заведующим лабораторией пучков частиц, **указала, что** "диссертация В.П. Фроловой является научно-квалификационной работой, в которой содержатся решения таких задач, как: получение пучков многозарядных ионов с рекордным увеличением зарядовых состояний ионов, получение пучков многокомпонентных ионов с высоким содержанием бора или дейтерия. Эти результаты являются значимыми для физики ионных пучков и физики вакуумных разрядов."

**Соискатель имеет 32 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 28 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 16 работ.** Статей в научных журналах из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций - 13, публикаций в трудах международных симпозиумов и конференций - 12. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени кандидата наук работах, личный вклад автора – 85 %, общий объём публикаций – 11 печатных листов. Наиболее значимые работы соискателя:

1. Николаев А.Г., Окс Е.М., Фролова В.П., Юшков Г.Ю., Шмелев Д.Л., Уйманов И.В., Баренгольц С.А. Влияние параметров разряда на генерацию ионов дейтерия в плазме сильноточной импульсной вакуумной дуги с композиционным катодом из дейтерида циркония // Журнал технической физики, 2017, Т. 87, № 5, С. 681-687.

2. Бугаев А.С., Визирь А.В., Гушенец В.И., Николаев А.Г., Окс Е.М., Савкин К.П., Фролова В.П., Юшков Г.Ю. Генерация многозарядных ионов металлов в плазме вакуумного дугового разряда // Известия высших учебных заведений. Физика, 2017, Т. 60, № 8, С.115-122.

3. Николаев А.Г., Окс Е.М., Фролова В.П., Юшков Г.Ю. Генерация плазмы бора в вакуумной дуге с катодом из гексаборида лантана // Письма в Журнал технической физики, 2015, Т. 41, № 18, С. 30-37.

4. Юшков Г.Ю., Николаев А.Г., Фролова В.П., Окс Е.М., Румянцев Г.С., Баренгольц С.А. Масс-зарядовый состав плазмы вакуумной дуги с катодом из циркония, насыщенного дейтерием // Письма в Журнал технической физики, 2014, Т. 40, № 23, С. 74-81.

5. Frolova V.P., Gushenets V.I., Nikolaev A.G., Oks E.M., Savkin K.P., Yushkov G.Yu Generation of boron-rich plasma by a pulsed vacuum arc with lanthanum hexaboride cathode // IEEE Transactions on Plasma Science, 2017, V. 45, No. 8, P. 2070-2074.

6. Yushkov G.Yu, Nikolaev A.G., Frolova V.P., Oks E.M., Rouskikh A.G., Zhigalin A.S. Multiply charged metal ions in high current pulsed vacuum arcs // Physics of Plasmas, 2017, V. 24, No. 12, P. 123501 (1-8).

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

1. ФГБУ "Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра "Курчатовский институт", гор. Москва, отзыв положительный, подписан кандидатом физико-математических наук, заместителем директора по научной работе по ускорительному направлению Кулевым Тимуром Вячеславовичем, имеется замечание:

"Спектр ионов висмута, представленный на рис.5, приходится на ту же область, где могут располагаться ионы остаточного газа (однозарядные ионы углерода, азота и кислорода). Наличие пика водорода высокой амплитуды и пиков слева от 1мкс говорит о возможности присутствия таких ионов в пучке. Хотелось бы увидеть оценку вклада этих ионов, если он есть, в приведенный спектр."

2. ФГБНУ "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук", гор. Н.-Новгород, отзыв положительный, подписан докторами физико-математических наук, заведующим лабораторией ионных источников Скалыгой Вадимом Александровичем и заведующим

отделом физики плазмы Водопьяновым Александром Валентиновичем, имеются два замечания.

"1. Удивительно, что автор не отмечает в тексте актуальность исследований по формированию сильноточных пучков ионов бора для разработки систем управляемого термоядерного синтеза на основе безнейтронной реакции  $^{11}\text{B}(p,\alpha)\alpha$ . Обсуждение данной проблемы, несомненно, украсило бы диссертацию.

2. С точки зрения оформления автореферата рисунок 1 было бы правильнее представить в "отраженном" относительно вертикальной оси виде, так, чтобы схема установки читалась слева направо."

3. ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", гор. Санкт-Петербург, отзыв положительный, подписан доктором технических наук, профессором кафедры "Техника высоких напряжений, электроизоляция и кабельная техника" Кривошеевым Сергеем Ивановичем, имеется замечание:

"В качестве замечаний по автореферату следует отметить отсутствие физического объяснения роста средней зарядности ионов пучка при сокращении длительности импульса дуги (см. табл. 4 на стр. 10 автореферата)."

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** компетентностью оппонентов и сотрудников ведущей организации, их известностью и наличием значимых публикаций в данной отрасли науки, способностью определить научную и практическую ценность диссертации, дать рекомендации по использованию её результатов.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** научная концепция, описывающая закономерности генерации многозарядных и многокомпонентных ионных пучков на основе сильноточного вакуумного дугового разряда с микросекундной длительностью импульса, **предложены** оригинальные научные гипотезы, объясняющие существенное превышение доли ионов дейтерия в плазме разряда над долей атомов дейтерия

в насыщенном им циркониевом катоде и наличие оптимальной амплитуды импульса тока вакуумной дуги, при которой увеличение зарядовых состояний ионов материала катода в плазме дуги наибольшее,  
**доказана** перспективность применения катода вакуумной дуги, выполненного из электропроводных соединений бора, для генерации на основе такого разряда пучков с высоким содержанием ионов бора,  
**введено** новое понятие - интегральная средняя зарядность ионов, определяющее средний заряд ионов в импульсе с учетом тока пучка.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказаны** положения о генерации многозарядных ионов металла в плазме вакуумной дуги, ионов бора и дейтерия, представляющие собой базу достоверных экспериментальных результатов, необходимых при проведении теоретических исследований плазмы вакуумного дугового разряда,  
**применительно к проблематике диссертации эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов, использован** комплекс ионно-эмиссионных методик исследования плазмы вакуумной дуги,  
**изложены** условия генерации в плазме дуги ионов тяжелых металлов с высокими зарядовыми состояниями,  
**раскрыты** противоречия между наложением внешнего магнитного поля на плазму разряда и его слабым влиянием на повышение зарядовых состояний ионов плазмы, а также между долями ионов бора плазмы дуги и атомов бора в катоде,  
**изучены** факторы, влияющие на эффективность повышения зарядовых состояний ионов тяжелых металлов в пучке и получения многокомпонентных пучков с высоким содержанием ионов бора или дейтерия, имеющие существенное значение при моделировании плазменных процессов в вакуумном дуговом разряде,  
**проведена модернизация** метода обработки результатов масс-спектрометрических измерений состава плазмы дуги, заключающаяся в идентификации пиков масс-зарядового спектра ионов по известному пику.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены** установки для проведения научных исследований на основе вакуумного дугового разряда: модернизированный вакуумный дуговой ионный источник для осуществления ионно-пучковой модификации поверхности, поставленный в Национальный центр ядерных исследований, гор. Отвоцк, Польша, и компактный источник плазмы со сверхзвуковыми скоростями ионов металлов для лабораторного моделирования астрофизических процессов, поставленный в ФГБНУ "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук", гор. Н.Новгород,

**определены** перспективы применения полученных в диссертации результатов по генерации импульсных ионных пучков для науки и практики,

**создана** система практических рекомендаций по оптимизации разрядной системы и параметров импульса вакуумной дуги при генерации импульсных пучков ионов тяжелых металлов с рекордными зарядовыми состояниями и многокомпонентных пучков с высоким содержанием ионов бора или дейтерия;

**представлены** предложения по дальнейшему совершенствованию вакуумного дугового ионного источника с целью генерации гибридных пучков с высокой долей ионов неэлектропроводных материалов.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** установлено, что результаты измерений получены на сертифицированном диагностическом оборудовании, обладают воспроизводимостью в различных условиях,

**теория** плазменных процессов вакуумного дугового разряда согласуется с экспериментальными результатами, полученными в диссертации,

**идея базируется** на анализе и обобщении результатов современных исследований вакуумного дугового разряда,

**использованы** сравнения полученных автором данных по физике импульсного вакуумного дугового разряда с данными, полученными ранее другими



авторами, а также с результатами численных оценок,

**установлено** качественное соответствие результатов, полученных в диссертационной работе, с результатами, представленными в независимых литературных источниках,

**использованы** современные методики обработки экспериментальных данных при проведении исследований.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

модернизации экспериментальной установки применительно к задачам работы, выборе методик проведения экспериментов, проведении исследований и анализе их результатов, воплощении результатов исследований в разработанных устройствах, самостоятельной формулировке защищаемых научных положений и выводов по работе, подготовке основных публикаций по диссертации.

На заседании 08 июня 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Фроловой Валерии Петровне ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 5 докторов наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Зам. председателя  
диссертационного совета,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

  
Королёв Ю.Д.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор физико-математических наук

  
Рыжов В.В.

«08» июня 2018 г.

