Минобрнауки России
Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт сильноточной электроники
Сибирского отделения
Российской академии наук
(ИСЭ СО РАН)
пр-кт Академический, д. 2/3,
г. Томск, 634055
тел. (3822) 491-544, факс (3822) 492-410
e-mail: contact@hcei.tsc.ru
http://www.hcei.tsc.ru
ОКПО 05160369; ОГРН 1027000871666
ИНН 7021001375; КПП 701701001

от_____ № _____
на № _____ от _____

"УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, академик РАН

_____ Н.А.Ратахин

8 октября 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук на диссертационную работу НГУЕН Тхе Тханг "Новые приборы корпускулярной диагностики многокомпонентной плазмы и экспериментальные результаты исследования разрядов в скрещенных электрическом и магнитном полях", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики

Актуальность тематики исследований диссертационной работы заключается в необходимости дальнейшего развития плазменных масс-сепараторов ионов различных материалов и способов получения плазменных потоков в них, а также методов диагностики параметров ионного компонента в этих потоках. Плазменные методы масс-сепарации, позволяющие разделять ионы или группы ионов многокомпонентной плазмы, перспективны для утилизации отработанного ядерного топлива, химически-опасных отходов, выделения радиоактивных и редкоземельных элементов. Плазменные масс-сепараторы обладают существенно большей производительностью, чем широко применяемые в настоящее время электромагнитные масс-сепараторы, использующие не поток плазмы, а ускоренный ионный пучок. Хорошо отработанная методика генерации

Вх№287-03/08-46
от 06.11.2020

плазменных потоков на основе ускорителей с замкнутым дрейфом электронов, высокая надежность этих приборов, давно и успешно используемых в качестве электрореактивных двигателей космических аппаратов, а также в технологиях модификации поверхности материалов, делает их перспективными для использования в плазменных масс-сепараторах. Вместе с тем, принципиальным моментом ускорителей с замкнутым дрейфом электронов вообще и ускорителей с анодным слоем в частности является широкое распределение ионов плазмы по кинетическим энергиям. В совокупности с существенным различием масс ионов разделяемых элементов, это делает затруднительным использование стандартного масс-спектрометрического оборудования для диагностики параметров ионного потока в плазменных масс-сепараторах и стимулирует разработку новых диагностических приборов. Кроме этого, использование ускорителя с анодным слоем для генерации ионного потока потребовало проведения специальных теоретических и экспериментальных исследований с ним, для достижения эффективной работы всего плазменного масс-сепаратора. В связи с этим, тематика диссертации, направленная на создание новых приборов корпускулярной диагностики многокомпонентной плазмы с немоноэнергетическим распределением ионов по кинетическим энергиям, а также исследования особенностей функционирования разряда в ускорителе с анодным слоем при параметрах, близких к режиму работы плазменного масс-сепаратора, является актуальной задачей.

Новизна результатов диссертации заключается в разработке оригинальных приборов корпускулярной диагностики для исследования масс-зарядового состава и энергетических распределений многокомпонентых плазменных потоков, оптимизации режимов работы и параметров ускорителя с анодным слоем для генерации таких потоков. Она доказана и отражена в научных положениях, выносимых на защиту.

Достоверность и обоснованность полученных в диссертации результатов подтверждается систематическим характером исследований, в том числе с использованием разработанных оригинальных приборов, сравнением и хорошим совпадением экспериментальных результатов с результатами теоретических оценок и расчетов, а также сопоставлением и отсутствием противоречий полученных результатов с результатами других исследований. На всех этапах исследований приводится подробное обсуждение полученных результатов и делается мотивированный выбор конкретных решений. Научные

положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации диссертационной работы представляются обоснованными в тексте самой диссертации. Все результаты, отраженные в научных положениях диссертации, получены впервые.

Материалы диссертации прошли апробацию на шести международных и всероссийских конференциях, опубликованы в двух статьях в рецензируемых журналах из перечня, определенного ВАК РФ (Письма в журнал технической физики и Physics of Plasmas). По результатам диссертации получен патент на изобретение и 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Практическая значимость полученных автором результатов состоит в возможности использования разработанных анализаторов для совершенствования процессов разделения ионов, нахождения оптимальных параметров ускорителя с анодным слоем для стабильной и эффективной работы масс-сепаратора. Важным моментом результатов диссертации является то, что автор работы не только разработал и использовал для исследований оригинальные анализаторы ионов, но и написал программы и интерфейсы для них. Таким образом, он создал законченный научный продукт - приборы экспериментальной физики, которые существенно улучшают качество и производительность исследований и могут применяться для широкого круга научных и практических задач.

Оценка содержания диссертационной работы показала, что в ней представлен значительный объем проделанных экспериментальных и расчетных исследований, соответствующий уровню кандидатской диссертации. Диссертация охватывает весь путь от детального описания принципа работы приборов и исследования их характеристик, до получения значимых экспериментальных результатов с их использованием. Несомненным достоинством диссертации является сочетание в ней экспериментальных и теоретических исследований, дополняющих друг друга. Диссертация представляется завершенной работой, имеющей хорошие перспективы дальнейшего развития, заключающиеся в создании полномасштабной версии плазменного масс-сепаратора для использования в современных технологиях плазменного разделения материалов по массам ионов, применения анализаторов плазменного потока для других задач экспериментальной физики.

Достоинства диссертации заключаются в том, что в ней проведен и представлен подробный анализ современного состояния дел в вопросе исследования параметров и методов разделения по массам ионов многокомпонентной плазмы, созданы новые оригинальные спектрометры ионов

для её изучения, разработано программное обеспечение для работы с ними. Проведены детальные экспериментальные и теоретические исследования ускорителя с анодным слоем, найдены оптимальные условия для использования его в плазменном масс-сепараторе.

Диссертация имеет четкую структуру, обладает внутренним единством, содержит новые значимые результаты. Все вопросы и результаты исследований, изложенные в ней, рассмотрены подробно и доказывают научные положения, выносимые на защиту. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики. Автореферат диссертации правильно и полно отражает её основное содержание.

Рекомендуется использовать результаты диссертации в организациях, занимающихся проблемами создания плазменных установок для разделения радиоактивных отходов, таких как Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Федеральное государственное унитарное предприятие "Радон", Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский национальный исследовательский технический университет" и других научных и производственных организациях, занимающихся этой тематикой.

Замечаний по диссертации:

1. Первые три научные положения, посвященные разработке анализаторов многокомпонентного ионного потока, следовало бы объединить в одно более весомое положение.

2. Использование в научных положениях названий установок, например "Гибридный анализатор", а также акронимов, таких как МБ, ПОМС-Е-3, без указания их конкретных параметров, не представляется правильным подходом при формулировании положений. Исключения могут быть сделаны только для крупных и широко известных научных установок, таких как "Большой адронный коллайдер" или реактор ИТЭР.

3. При разработке новых диагностических приборов экспериментальной физики главное значение имеет вопрос их испытаний для определения точности получаемых результатов. В диссертации лишь упомянуто, что испытание осуществлялось пучком ионов на специальной "калибровочной" установке, но сами результаты испытаний в виде зависимостей и таблиц не представлены. Вместе с

тем, представление в тексте диссертации результатов анализа моноэнергетичных пучков различных ионов с регулируемой энергией позволило бы понять зависимость разрешения приборов, как от масс ионов, так и от их энергий и более точно определить возможность их использования в других областях экспериментальной физики.

4. В тесте диссертации присутствуют ошибки. Например:

стр. 7, 14 строка сверху: позиция 7 - это не электрод, а катушка магнитного поля;

стр. 19, 11 строка снизу: спектрометр с двойной фокусировкой был разработан не в "университете Мацуда", а в Университете Осако (Япония) в группе проф. Хисаши Мацуда;

стр 21, 5 строка сверху: "она [сетка] сжимает ионы" - правильнее: "фокусирует ионный поток".... и т.д.

Отмеченные замечания не снижают уровень научных исследований, представленный в диссертационной работе.

Заключение

Диссертация НГУЕН Тхе Тханг на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук "Новые приборы корпускулярной диагностики многокомпонентной плазмы и экспериментальные результаты исследования разрядов в скрещенных электрическом и магнитном полях" соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а автор диссертации НГУЕН Тхе Тханг заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании лаборатории плазменный источников Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, протокол № 01 от 26 октября 2020 г.

Отзыв составил:

Главный научный сотрудник
лаборатории плазменных источников,
доктор технических наук Юшков Г.Ю

27 октября 2020 г.

Контактные данные института:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН).

Адрес: 634055 г. Томск, пр. Академический, 2/3.

Тел.: +7 (3822) 491-776

Электронная почта: contact@hcei.tsc.ru

Сайт: https://www.hcei.tsc.ru

Юшков Георгий Юрьевич, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук; доктор технических наук по специальности 05.27.02 - вакуумная и плазменная электроника; старший научный сотрудник по специальности 05.27.02 - вакуумная и плазменная электроника; электронная почта: GYushkov@mail.ru; тел.: (3822)491776; адрес: 634055, гор. Томск, просп. Академический 2/3.

«Подпись главного научного сотрудника Института сильноточной электроники СО РАН доктора технических наук Юшкова Г.Ю. удостоверяю».

Ученый секретарь Института
сильноточной электроники СО РАН,
доктор физико-математических наук Пегель И.В.

Сведения о ведущей организации

по диссертационной работе НГУЕН Тхе Тханг "Новые приборы корпускулярной диагностики многокомпонентной плазмы и экспериментальные результаты исследования разрядов в скрещенных электрическом и магнитном полях", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики в диссертационный совет Д.003.075.02

Наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН).

Адрес: 634055 г. Томск, пр. Академический, 2/3.

Тел.: +7 (3822) 491-776

Электронная почта: contact@hcei.tsc.ru

Сайт: https://www.hcei.tsc.ru

Список публикаций работников ИСЭ СО РАН по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. A.G. Nikolaev, E.M. Oks, A.V. Vizir, G.Yu. Yushkov, V.P. Frolova Boron ion beam generation utilizing lanthanum hexaboride cathodes: Comparison of vacuum arc and planar magnetron glow // Rev. Sci. Instrum., 2016, V. 87, No. 2, p. 02A902 (1-3).

2. Rousskikh A.G., Zhigalin A.S., Oreshkin V.I., Frolova V.P., Velikovich A.L., Yushkov G.Y., Baksht R.B. Effect of the axial magnetic field on a metallic gas-puff pinch implosion // Phys. of Plasmas, 2016, V. 23, No. 6, p. 063502 (1-11).

3. A. G. Rousskikh, V.I. Oreshkin, A.S. Zhigalin, G.Yu. Yushkov, G. Yu. Use of a probing pulsed magnetic field for determining plasma parameters // Phys. of Plasmas, v. 23, No 11, 2016, p. 113507 (1-4).

4. А.Г. Николаев, Е.М. Окс, В.П. Фролова, Г.Ю. Юшков, Д.Л. Шмелев, И.В. Уйманов, С.А. Баренгольц 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.

5. V.P. Frolova, V.I. Gushenets, A.G. Nikolaev, E.M. Oks, K.P. Savkin, G.Yu. Yushkov Generation of Boron-Rich Plasma by a Pulsed Vacuum Arc With Lanthanum Hexaboride Cathode // IEEE Transactions on Plasma Science, 2017, V. 45, No 8, Pt. 2, p. 2070 - 2074.

6. Визирь А.В., Окс Е.М., Шандриков М.В., Юшков Г.Ю. Влияние параметров разряда на генерацию ионов H3+ в источнике на основе отражательного разряда с полым катодом // Журнал технической физики. 2017. Т. 87. № 3. С. 356-359.

7. Maxim V. Shandrikov, Alexey S. Bugaev, Efim M. Oks, Alexey V. Vizir, Georgy Yu. Yushkov. Planar magnetron sputtering with supplementary electron injection // Vacuum, v. 143, 2017, pp. 458-463.

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

9. M.V. Shandrikov, A.S. Bugaev, E.M. Oks, A.V. Vizir, G.Yu. Yushkov, Ion mass-to-charge ratio in planar magnetron plasma with electron injections // Journal of Phys. D-Applied Phys. v. 51, no. 41, 2018, 415201 (1-8).

10. G.Y. Yushkov, V.P. Frolova, A.G. Nikolaev, and E.M. Oks High-Charge-State Ion Beam Generation in a High-Current Pulsed Vacuum Arc Source // IEEE Transactions on Plasma Science, 2019, V. 47, No 8, p. 3586-3589.

11. V.P. Frolova, A.G. Nikolaev, E.M. Oks, and G.Yu. Yushkov Deuterium ions in vacuum arc plasma with composite gas-saturated zirconium cathode in a magnetic field // Plasma Sources Sci. Technol., 2019, V. 28, p. 075015 (1-8).

12. V.P. Frolova, A.G. Nikolaev, E.M. Oks, A.V. Vodopyanov, A.Yu. Yushkov, and G.Yu. Yushkov Pulsed vacuum arc plasma source of supersonic metal ion flow // Rev. Sci. Instrum., 2020, V. 91, No. 2, p. 023302 (1-5).

13. S.A. Barengolts, D. Hwangbo, S. Kajita, N. Ohno, V.P. Frolova, A.G. Nikolaev, E.M. Oks, D.L. Shmelev, M.M. Tsventoukh, G.Yu Yushkov Dynamics of the changes in the parameters of the arc plasma during the destruction of a helium-induced tungsten fuzz by arc pulses // Nuclear Fusion, 2020, V. 60, No. 4, p. 044001 (1-8).

Ученый секретарь Института
сильноточной электроники СО РАН,
доктор физико-математических наук Пегель И.В.

28 октября 2020 г.