

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

**ГОДОВОЙ ОТЧЕТ ПО НИР
КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ ЗА 2012 г.**

20-й выпуск

Под редакцией В.А. Курнаева

Москва 2013

УДК 533.9

ГОДОВОЙ ОТЧЕТ ПО НИР КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ ЗА 2012 г. 20-й выпуск
/ Под ред. В.А. Курнаева. М.: НИЯУ МИФИ, 2013. – 64с.

Отчет кафедры физики плазмы НИЯУ МИФИ за 2012 год содержит краткое изложение основных результатов теоретических, расчетных, экспериментальных и технологических исследований и разработок, выполненных сотрудниками, аспирантами и студентами кафедры. Отчет содержит шесть тематических разделов: теория и моделирование, физика разрядов и пучков, диагностика плазмы, взаимодействие плазмы и ее компонентов с веществом, плазменные технологии, экспериментальные установки и приборы. Приведены также сведения о составе кафедры, работах, опубликованных в журналах и доложенных на конференциях в 2012 году, перечень защищенных на кафедре дипломных работ, диссертаций и исследовательских работ школьников, участвующих в научных работах на кафедре. В приложениях дается также краткая информация о проведенных с участием кафедры в 2012 г. научных конференциях и семинарах.

This annual report of the Plasma Physics Department (PPD) of National Research Nuclear University МЕРНІ for 2012 represents main results of theoretical, numerical, experimental and technological investigations obtained by faculty and scientific staff as well as by students in 2012. The report consists of 6 topics: theory and modeling, physics of discharges and beams, diagnostics of plasma, plasma and ion interactions with matter, plasma technologies, and experimental devices and instruments. The list of faculty and scientific staff as well as the list of the publications and scientific presentations, list of master thesis's defended, and the list of scholar's participating in scientific works of the department in 2012 are given. The short information on conferences held by Department in 2012 is also presented.

Редакционная коллегия

<i>Председатель</i>	-	<i>Курнаев В.А.</i>
<i>Зам. председателя</i>	-	<i>Писарев А.А.</i>
<i>Научный секретарь</i>	-	<i>Гаспарян Ю.М.</i>
	-	

ISBN 978-5-7262-1833-5

© **Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2013**

СО Д Е Р Ж А Н И Е

1. ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Е.Д. МАРЕНКОВ, Р.Д. СМЕРНОВ, С.И. КРАШЕНИННИКОВ, А.А. ПИСАРЕВ О реакции первой стенки токамаков на ЭЛМ	6
Е.Д. МАРЕНКОВ, С.И. КРАШЕНИННИКОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ Транспорт водорода в материалах с широким распределением ловушек по энергиям захвата	7
С.А. КРАТ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ Компьютерный код PIM:SET для моделирования движения частиц в условиях магнетронного разряда	8
Е.Д. МАРЕНКОВ, Д.А. ТРУФАНОВ, В.А. КУРНАЕВ О проникновении заряженных частиц через тонкие фольги	9
Д.К. КОГУТ, Н.Н. ТРИФОНОВ, В.А. КУРНАЕВ Численное моделирование изменения состава поверхности первого зеркала с учётом транспорта частиц в защитном канале в диагностическом порту установки ИТЭР	10
А.А. СТЕПАНЕНКО, С.И. КРАШЕНИННИКОВ Динамика пылевых частиц с вращательной симметрией в замагниченной плазме.....	11

2. ФИЗИКА РАЗРЯДОВ И ПУЧКОВ

И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ, К.М. ГУТОРОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО Влияние паров воды на ионный состав водородной плазмы пучково-плазменного разряда	12
К.М. ГУТОРОВ, И.В. ВИЗГАЛОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО, И.А. СОРОКИН Исследование неустойчивостей взаимодействия плазмы с вольфрамовым электродом	13
О.А. БАШУТИН, Е.Д. ВОВЧЕНКО, Э.И. ДОДУЛАД, А.С. САВЕЛОВ, С.А. САРАНЦЕВ Влияние электродной системы на излучательные характеристики вакуумной искры.....	14
А.В. БАЛОВНЕВ, Э.И. ДОДУЛАД, А.С. САВЕЛОВ, Г.Х. САЛАХУТДИНОВ Исследование рентгеновского излучения микропинчевого разряда при помощи термолюминесцентных детекторов	15
О.А. БАШУТИН, Е.Д. ВОВЧЕНКО, Э.И. ДОДУЛАД, А.С. САВЕЛОВ, С.А. САРАНЦЕВ Комплексное исследование корпускулярных потоков импульсной плазмы	16
И.Г. ГРИГОРЬЕВА, А.С. САВЕЛОВ, Г.Х. САЛАХУТДИНОВ Механизмы образования высокоэнергетичного рентгеновского излучения в плазме сильноточного электрического разряда	17
Д.Л. КИРКО, А.С. САВЕЛОВ Высокочастотные колебания в плазме разряда в электролите	18
Ф.С. ПОДОЛЯКО, И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ, А.Н. ЗЕЛЕНСКИЙ, G. ATOIAN, J. RITTER Влияние напуска ксенона на транспортировку интенсивного пучка ионов Н	19
Ф.С. ПОДОЛЯКО, И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ, А.Н. ЗЕЛЕНСКИЙ, G. ATOIAN, J. RITTER Получение высокоинтенсивных поляризованных пучков отрицательных ионов Н на OPPIС RHIC (BNL).....	20

3. ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЫ

Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, О.И. БУЖИНСКИЙ, С.В. ВЕРГАЗОВ, А.М. ЗАХАРОВ, А.П. КУЗНЕЦОВ, В.И. ФРОЛОВ, К.И. ЯМСКОВ Использование лазера на парах меди для наблюдения за изменением рельефа распыляемых образцов	21
А.В. КАЗИЕВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО Скоростная визуализация сильноточного импульсного диффузного разряда	22

А.В. КАЗИЕВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО	
Оптическая диагностика сильноточного импульсного магнетронного разряда	23
А.В. БАЛОВНЕВ, И.В. ВИЗГАЛОВ, И.Л. МАНОХИН	
Использование метода фильтров для исследования аномальной электронной эмиссии в автоколебательном режиме пучково-плазменного разряда на установке ПР-2	24
И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ, К.М. ГУТОРОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО	
Анализатор ионного состава плазмы в собственном магнитном поле установки ПР-2	25
С.А. ЛЕПИХОВ, Г.В. КРАШЕВСКАЯ	
Система мониторинга зондовой диагностики.....	26
4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ С ВЕЩЕСТВОМ	
Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.В. ГРУНИН, В.Н. ЕРМАКОВ, А.С. КАПЛЕВСКИЙ, Я.А. САДОВСКИЙ, С.В. ВЕРГАЗОВ, П.А. ШИГИН	
Захват и выделение водорода из нержавеющей стали при её облучении в водородной плазме с примесью кислорода	27
А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, М.Л. ДУБРОВ, Я.А. САДОВСКИЙ, А.Ф. СКРИПИЦЫН	
Удаление перенапыленных углеродных слоев из щелей материалов первой стенки ТЯР при помощи озона	28
К.М. ГУТОРОВ, И.В. ВИЗГАЛОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО, И.А. СОРОКИН	
Исследование взаимодействия плазмы с поверхностью графита при градиенте температуры образца	29
В.С. ЕФИМОВ, А.А. СМОЛЯКОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, Е.Д. МАРЕНКОВ, А.В. СПИЦЫН, А.В. ГОЛУБЕВА, Н.П. БОБЫРЬ	
Термодесорбция дейтерия из сплава V-4Cr-4Ti	30
Н.В. МАМЕДОВ, В.А. КУРНАЕВ, Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, Д.В. КОЛОДКО, Д.А. ТРУФАНОВ	
Конверсионная способность материалов конвертера для прибора «АРИЕЭС-Л» проекта «Луна –Ресурс»	31
5. ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
М.С. ЗИБРОВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО, А.В. ТУМАРКИН, А.В. КАЗИЕВ, Т.В. СТЕПАНОВА, А.А. ПИСАРЕВ, М.В. АТАМАНОВ	
Создание защитных металлических покрытий на алюминии методом магнетронного распыления	32
Д.Д. БЕРНТ, А.А. ПИСАРЕВ, К.К. ДЕНЬЩИКОВ	
Модификация токосъемников суперконденсаторов путем осаждения углеродных наноструктур из плазмы магнетронного разряда.....	33
6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПРИБОРЫ	
И.А. СОРОКИН, Ф.С. ПОДОЛЯКО, А.Н. ЗЕЛЕНСКИЙ, G. ATOIAN, J. RITTER	
Магнитодинамический клапан для импульсного напуска газа в установках с сильным магнитным полем	34
С.А. КРАТ, Б.А. БЕРНТ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ	
Установка МР-2 для исследования соосаждения дейтерия с активными материалами в условиях магнетронного разряда.....	35
И.В. ВИЗГАЛОВ, В.А. КУРНАЕВ, Т.Р. ТУЛЕНБЕРГЕНОВ, И.А. СОКОЛОВ, А.А. КОЛОДЕШНИКОВ, В.А. ЗУЕВ, В.И. ИГНАШЕВ, И.Н. БОГОМОЛОВА	
Запуск стенда имитационных испытаний при токамаке КТМ.....	36
Е.Д. ВОВЧЕНКО, К.И. КОЗЛОВСКИЙ, Д.Д. ПОНОМАРЕВ, Д.Р. ХАСАЯ, <u>А.С. ЦЫБИН</u> , А.Е. ШИКАНОВ	
Лабораторный макет импульсного генератора нейтронов с лазерно-плазменным источником дейтронов	37

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Перечень трудов кафедры за 2012 год	38
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Дипломные проекты, защищенные студентами кафедры в 2012 году с присвоением квалификации инженер-физик, защищенные диссертации, летняя практика школьников	47
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Список сотрудников и аспирантов кафедры	52
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Именной указатель авторов работ	53
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Программа 15 конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», НИЯУ МИФИ, 2 – 3 февраля 2012 г.	54
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Программа 8 конференции «Современные методы диагностики плазмы и их применение», НИЯУ МИФИ, 24-26 октября 2012 г.	58

1. ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

О РЕАКЦИИ ПЕРВОЙ СТЕНКИ ТОКАМАКОВ НА ЭЛМ

Е.Д. МАРЕНКОВ, Р.Д. СМИРНОВ*, С.И. КРАШЕНИННИКОВ*, А.А. ПИСАРЕВ

* - Калифорнийский университет Сан-Диего, США

Известно, что работа токамака в режиме Н-моды, который предполагается основным для проекта ИТЭР, сопровождается ЭЛМами, приводящими к быстрому разрушению пьедестала Н-моды, что вызывает уменьшение плотности плазмы, а также приводит к значительному увеличению потоков частиц и тепла на стенку реактора. После ЭЛМа пьедестал восстанавливается, причем обычно предполагают, что его восстановление определяется целиком процессами переноса в плазме [1]. Вместе с тем, как было показано ранее в [2] в рамках нуль-мерного приближения, при определенных условиях десорбция водорода из первой стенки может оказывать существенное влияние на восстановления пьедестала.

Более точный анализ может быть сделан на основе численного моделирования, более тонко учитывающего процессы накопления и десорбции водорода из материалов первой стенки. При моделировании в качестве материала был выбран бериллий, как материал первой стенки реактора ИТЭР.

Моделирование было произведено в специально разработанном коде FACE. Взаимодействие водорода со стенкой описывается одномерной моделью, учитывающей транспорт растворенного водорода, вакансий и междоузельных атомов бериллия, созданных в результате воздействия на стенку потока плазмы, а также возможные реакции между этими компонентами. Температура стенки вычисляется из решения одномерного уравнения теплопроводности.

Результаты моделирования, проведенного для трех значений стационарной температуры поверхности стенки, обращенной к плазме, показали, что при выбранных параметрах взаимодействия водорода со стенкой можно ожидать существенное влияние десорбции газа на процессы, происходящие в плазме в Н-моды (восстановление пьедестала после вспышки ЭЛМа), только если значение этой температуры мало (около 400 К). При температуре порядка 800 К поток десорбции газа из стенки практически совпадает с потоком водорода из плазмы на стенку, т.е. система находится в квазистационарном режиме, и реакция стенки на вспышку ЭЛМа не может оказывать существенного влияния на восстановление пьедестала.

Рассмотрение изменения профилей концентрации растворенного водорода, вакансий и междоузельных атомов бериллия показало, что при выбранных параметрах задачи десорбция водорода из стенки определяется транспортом растворенного водорода. Поэтому для сравнения численных расчетов с аналитическими оценками, выполненными в [2], необходимо было модифицировать полученные там критерии для учета процесса диффузии, который является существенно однородным. Такая модификация была произведена; в результате было показано, что найденные диапазоны температур, при которых стенка может оказывать влияние на восстановление пьедестала, согласуются с качественными оценками.

Список литературы:

- [1] Nunes I., Manso M., Serra F. et al. Nucl. Fusion, 2005, V. 45, P. 1550.
- [2] Marenkov E.D., Krasheninnikov S.I., Pisarev A.A. et al. Physics of Plasmas, 2012, V. 19, P. 092501.
- [3] Smirnov R.D. et al. to be published in J. Nucl. Mater, 2012.

ТРАНСПОРТ ВОДОРОДА В МАТЕРИАЛАХ С ШИРОКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЛОВУШЕК ПО ЭНЕРГИЯМ ЗАХВАТА

Е.Д. МАРЕНКОВ, С.И. КРАШЕНИННИКОВ*, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ

* - Калифорнийский университет Сан-Диего, США

Известно, что в процессе работы на первой стенке токамаков образуются слои перенасыщенного материала, в которых накапливается большое количество изотопов водорода. Эти слои имеют сложную неоднородную структуру, могут содержать в себе различные примеси, большое количество ловушек различных типов, которые, в принципе, могут иметь довольно широкое распределение по энергиям. В таком случае использование классических уравнений диффузии водорода в поле дефектов, отвечающих конечному числу типов дефектов, может оказаться неправильным.

В настоящей работе рассмотрено возможное влияние распределения дефектов по энергиям связи с водородом на процесс десорбции исходя из модели случайных блужданий атомов по решетке материала образца. В случае идеальной решетки время скачка атома из одного узла в другой одинаково. Для решетки с дефектами эти времена отличаются, причем, чем больше энергия связи с дефектом, тем больше соответствующее время «прыжка». Распределение времен скачков поэтому должно быть связано с распределением дефектов по энергиям выхода водорода. Если это распределение таково, что существует конечное среднее время ожидания для частицы в узлах решетки, диффузия происходит по классическому закону. В этом случае асимптотическая зависимость потока газовой выделенности из образца при постоянной температуре T есть $1/t^{0.5}$. Если же распределение дефектов по энергиям таково, что среднего времени нет, происходит «аномальная» диффузия. Примером такого распределения может служить зависимость

$$P_E(\varepsilon) = \alpha \exp(-\alpha\varepsilon),$$

где $\varepsilon=E/T$ – безразмерная энергия выхода водорода из дефектов, α – коэффициент, удовлетворяющий условиям нормировки. В этом случае, начиная с достаточно больших времен, асимптотическая зависимость потока обезгаживания имеет вид:

$$j_{out} \sim 1/t^{1-\alpha/2},$$

что качественно отличается от классической корневой зависимости.

Отклонения потока обезгаживания из материалов от диффузионного закона $j_{out} \sim t^{-1/2}$ действительно наблюдаются в экспериментах. Так эксперименты на токамаках JET и ToreSupra [1] показывают, что поток обезгаживания с хорошей точностью следует зависимости $j_{out} \sim t^{-0.7}$, что может быть объяснено в рамках предложенной модели с широким распределением дефектов, если принять $\alpha \approx 0,33$. В настоящее время на кафедре физики плазмы НИЯУ МИФИ планируется проведение лабораторных экспериментов по обезгаживанию при постоянной температуре образцов вольфрама, предварительно насыщенных водородом, с целью определения возможных асимптотических зависимостей потока обезгаживания от времени.

Список литературы:

- [1] B. Pegourie, et al., "Deuterium Inventory in Tore Supra: coupled carbon-deuterium balance", 20th PSI, Aachen 21-25 May 2012.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ КОД PIM:SET ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ В УСЛОВИЯХ МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА

С.А. КРАТ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ

Разработан и апробирован программный код PIM:SET (Particles in magnetron: sputtering, evaporation, transportation), моделирующий распыление и транспорт частиц в магнетронном разряде постоянного тока. Отличительной особенностью кода является возможность произвольного расположения при помощи встроенного графического интерфейса любого количества материалов на катоде. Код позволяет моделировать многокомпонентный рабочий газ с произвольными парциальными давлениями компонент. Коэффициенты распыления, распределения распылённых частиц по энергиям и направлениям скоростей определяются эмпирическими формулами. Учитывается химическое распыление углерода изотопами водорода.

Вероятность ионизации распылённых частиц на данный момент задается константой. Движение ионизованных частиц рассчитывается методом Рунге-Кутты четвёртого порядка с автоматически корректируемой величиной шага. Влияние плазмы на магнитные и электрические поля не учитывается.

Транспорт нейтральных частиц рассматривается как серия свободных полётов, перемежающаяся рассеяниями на частицах рабочего газа. Рассматривается только рассеяние на атомах рабочего газа, рассеяние распылённых частиц друг на друге не учитывается. Угол рассеяния рассчитывается в зависимости от прицельного параметра согласно интегралу рассеяния. Для расчёта взаимодействия распылённой частицы с частицей газа используется потенциал Фирсова.

После переноса через газовую фазу частицы могут или осесть на стенки камеры, или вернуться на катод. При возвращении иона на катод моделируется возможность распыления материала катода этой частицей. Моделируются динамический рост и перераспыление плёнок на катоде.

Для учёта редких событий, таких как распыление тяжёлых атомов мишени лёгкими атомами рабочего газа, самораспыление, и для общего ускорения работы программы, введена система весов. При расчете падения каждой отдельной на поверхность катода ей приписывается «вес», определяемый из параметров расчета и значения тока разряда. До тех пор пока вероятность какого-либо события, помноженная на вес связанной с ним частицы, остаётся больше единицы, это событие считается случившимся, а вес получившейся в результате него частицы равным произведению вероятности события на вес частицы, которая привела к этому событию.

Код был апробирован путём сравнения с экспериментальными данными о распределении толщины вольфрамовой плёнки по стенке вакуумной камеры после распыления вольфрамового катода в магнетронном разряде дейтериевой плазмы. Модельные данные качественно соответствовали экспериментальным.

О ПРОНИКНОВЕНИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ ТОНКИЕ ФОЛЬГИ

Е.Д. МАРЕНКОВ, Д.А. ТРУФАНОВ, В.А. КУРНАЕВ

Вопросы проникновения заряженных частиц через тонкие фольги представляют интерес для ряда практических применений. Например, тонкие углеродные фольги используются в устройствах времяпролетной масспектрометрии, получения изображений космических объектов в нейтральных атомах (ENA - Energetic neutral atom imaging) [1], в диагностике плазмы по нейтралам перезарядки. Кроме того, измерения потерь энергии частиц в фольгах являются удобным инструментом для определения характеристик торможения заряженных частиц в веществе.

Протоны или альфа-частицы с энергией порядка 1 – 10 кэВ теряют энергию в достаточно тонкой (несколько десятков ангстрем) фольге в основном за счет неупругого торможения. Потери удельные энергии при этом определяются хорошо известной формулой

$$\frac{dE}{dx} = -k\sqrt{E}, \quad (1)$$

где E – энергия частиц, k – коэффициент, а «входная» поверхность фольги имеет координату $x = 0$. Коэффициент k в уравнении (1) зависит, вообще говоря, от деталей взаимодействия тормозящейся частицы с электронами мишени (так, в модели Ферми предполагается, что он пропорционален плотности электронного газа) и поэтому является величиной, флуктуирующей с x . Считая, что потери энергии в фольге малы по сравнению с самой энергией, $(E - E_0)/E_0 \ll 1$, где E_0 - начальная энергия частиц, можно получить из уравнения (1) следующее выражение для дисперсии энергии частиц, прошедших через фольгу толщины L :

$$D = E_0 \iint_0^L \langle \delta k(\xi) \delta k(\zeta) \rangle d\xi d\zeta, \quad (2)$$

где $\delta k(x)$ - флуктуирующая часть k . Если толщина фольги не слишком мала, распределение энергий прошедших через фольгу частиц будет иметь гауссову форму. В этом случае полуширина спектра потерь пропорциональна \sqrt{D} , т.е. пропорциональна $\sqrt{E_0}$. Этот факт неоднократно наблюдался экспериментально [1-3] и частично был объяснен в работе [3]. Однако в приведенном там выводе уравнения для дисперсии D , основанном на решении уравнения Фоккера-Планка, использовалось дополнительное предположение о том, что величина $\overline{\varepsilon^2(E_0)}/\overline{\varepsilon(E_0)}^2$, где ε - относительные потери энергии, не зависит от энергии.

Предполагая, что флуктуации k дельта-коррелированы, с длиной корреляции порядка атомных размеров, можно вычислить интеграл в (2) и получить оценку для полуширины спектра потерь. Для торможения протонов в углеродной фольге толщиной 40 Å получается полуширина $\sim 2\sqrt{E_0}$, эВ^{1/2}. Измерения, выполненные в [2-3] также дают полуширину $2\sqrt{E_0}$, эВ^{1/2}. В данном случае настолько точное совпадение, конечно, случайно, но мы можем утверждать, что приведенные оценки верны по порядку величины. Сделанные нами вычисления в кодах SCATTER и SRIM подтверждают приведенные аналитические оценки.

Список литературы:

- [1] F. Allegrini, D. J. McComas, D. T. Young et al. Review of Scientific Instruments, 77(4):044501, 2006.
- [2] E.A. Gridneva, N.N. Koborov, V.A. Kurnaev, and N.N. Trifonov. JETP Letters, (1):15 -17, 2003.
- [3] N.N. Koborov, A.I. Kuzovlev, V.A. Kurnaev et al. Nucl. Instr. and Meth. B, 129:5 - 10, 1997.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ПОВЕРХНОСТИ ПЕРВОГО ЗЕРКАЛА С УЧЁТОМ ТРАНСПОРТА ЧАСТИЦ В ЗАЩИТНОМ КАНАЛЕ В ДИАГНОСТИЧЕСКОМ ПОРТУ УСТАНОВКИ ИТЭР

Д.К. КОГУТ, Н.Н. ТРИФОНОВ, В.А. КУРНАЕВ

Металлические зеркала широко используются для оптической диагностики плазмы в проекте ИТЭР. Деградация поверхности зеркал за счет эрозии нейтралами перезарядки и осаждения примесей приводит к ухудшению их отражательных свойств.

Для компьютерного исследования изменения состава поверхности первого зеркала и защитного канала с учётом транспорта частиц пристеночной плазмы в данном канале была разработана модель переноса частиц D, He, Be в цилиндрическом стальном канале в экваториальном порту ИТЭР. Канал и зеркало разбиваются на некоторое количество колец (рис. 1), каждое из которых моделируется отдельным модулем SCATTER в режиме TRIDYN. Код учитывает отражение, распыление и переосаждение атомов. Начальные угловые, энергетические распределения и величины потоков частиц, падающих на первую стенку ИТЭР, рассчитаны в коде B2-EIRENE.

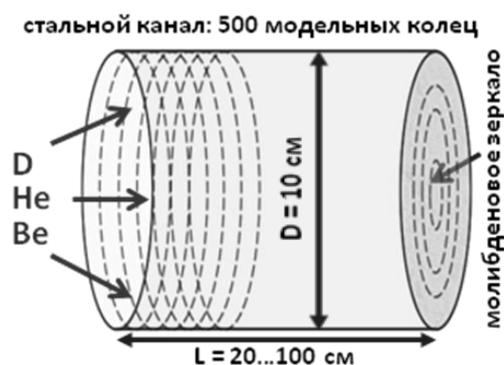


Рис. 1. Схема моделирования переноса частиц в защитном цилиндрическом канале

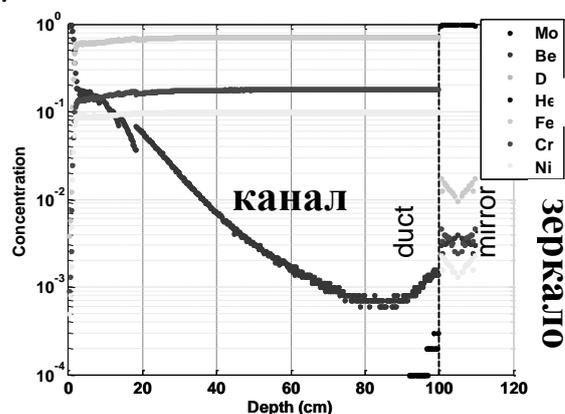


Рис. 2. Профиль поверхностных концентраций компонентов вдоль канала ($L/D = 10$) и на зеркале в случае облучения частицами D, He + 1% Be от потока нейтралов: доза 10^{20} см^{-2}

На рис. 2 показан профиль поверхностных концентраций компонентов вдоль канала с отношением $L/D = 10$ и на зеркале после облучения флюенсом нейтралов D, He 10^{20} см^{-2} для случая 1% примеси Be от падающего потока. Большая часть атомов Be осаждается вблизи входной апертуры, но с ростом дозы облучения за счёт процессов отражения и перепыления Be постепенно попадает вглубь канала. Кроме бериллия на зеркало осаждаются атомы железа, хрома и никеля, распылённые со стенок стального канала, причём относительная концентрация атомов Fe выше, чем у остальных примесей. Увеличение доли Be в падающем потоке приводит к соответствующему увеличению концентрации Be на поверхности зеркала.

По результатам моделирования можно сделать вывод о том, что защитный канал с отношением $L/D = 10$ существенно увеличивает рабочий ресурс зеркала в диагностическом порту. Коэффициент уменьшения потока Be на зеркало по сравнению с потоком на первую стенку составляет 14000. Уменьшение аспектного отношения канала L/D до 5 или до 2 существенно увеличивает потоки атомов Fe и Be, падающих на зеркало, при этом атомы примеси вбиваются высокоэнергетичными нейтралами в поверхность зеркала на глубину порядка 1 нм, что может затруднить последующую очистку зеркала *in situ*.

ДИНАМИКА ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ С ВРАЩАТЕЛЬНОЙ СИММЕТРИЕЙ В ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЕ

А.А. СТЕПАНЕНКО, С.И. КРАШЕНИННИКОВ*

* - Калифорнийский университет Сан-Диего, Сан-Диего, США

Пылевая плазма играет важную роль в различных плазменных средах, начиная от астрофизической и заканчивая термоядерной плазмой. В частности, в термоядерных устройствах, таких как ИТЭР, пыль может приводить к загрязнению плазмы, ухудшению времени удержания плазмы, а также накапливать токсичные и радиоактивные вещества, например, тритий или бериллий.

За последние годы появилось множество теоретических работ [1], посвященных исследованию динамики пылевых частиц в плазме. В большинстве из этих работ предполагается, что частица пыли имеет сферическую форму, а её структура однородна. Однако на практике такое предположение не всегда справедливо: зачастую пылинки имеют форму, отличную от сферической, а их структура является существенно неоднородной. Эти свойства могут значительно повлиять на динамику пылевых частиц в плазме и привести к возникновению новых эффектов.

Так в работах [2, 3] продемонстрировано, что: 1) сила трения, действующая в плазме на пылевую частицу, обладающую вращательной симметрией, имеет компоненты, перпендикулярные потоку плазмы, набегающему на пыль; 2) прецессия оси частицы пыли с осевой симметрией может приводить к значительным колебаниям траектории пылинки в направлении, ортогональном потоку плазмы. Однако в работах [2, 3] рассматривалась динамика пылевых частиц в незамагниченной плазме. Наличие магнитного поля в плазме может привести к возникновению новых механизмов, влияющих на динамику частиц пыли с вращательной симметрией.

Нами исследована динамика пылевых частиц с вращательной симметрией в замагниченной плазме. Использованный в [3] подход для описания динамики пылевых частиц в незамагниченной плазме, когда силы и моменты сил, действующие на частицы пыли, представляются в виде свертки тензоров, описывающих свойства пыли, с векторами скорости плазмы и частоты вращения пыли, модифицирован для учета влияния магнитного поля на динамику пыли. Анализ новых уравнений движения демонстрирует, что обусловленное магнитным полем вращение пылинок определяется моментами сил, связанными с действием силы Лоренца и столкновениями с замагниченными ионами плазмы. Сравнение величины этих моментов показывает, что первый механизм вращения частиц пыли преобладает для маленьких частиц, размер которых R_d значительно меньше радиуса Дебая λ_D , в то время как второй механизм вращения частиц преобладает для крупных пылинок. Полученные выражения использованы для анализа устойчивости вращения частиц пыли в рамках первого приближения теории возмущений в двух предельных случаях вращения крупных и маленьких пылинок. Для обоих рассматриваемых случаев найдены условия, накладываемые на геометрию частиц пыли, при которых вращение пылинок оказывается устойчивым.

Список литературы:

- [1] S. I. Krasheninnikov, R. D. Smirnov, and D. L. Rudakov, *Plasma Phys. Controlled Fusion* 53, 083001 (2011).
- [2] S. I. Krasheninnikov and D. A. Mendis, *J. Plasma Phys.* 77, 271 (2010).
- [3] S. I. Krasheninnikov, *Phys. Plasma* 17 (2010) 033703.

2. ФИЗИКА РАЗРЯДОВ И ПУЧКОВ

ВЛИЯНИЕ ПАРОВ ВОДЫ НА ИОННЫЙ СОСТАВ ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА

И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ, К.М. ГУТОРОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО

Присутствие молекулярных ионов в массовом спектре протонных пучков газоразрядных источников уменьшает содержание протонов в извлекаемом ионном пучке. В случае плазменных ионных источников необходимо добиться увеличения протонной компоненты. Применение мощных режимов горения разряда также нежелательно из-за уменьшения ресурса установки.

Исследовалось поведение ионного спектра водородной плазмы пучково-плазменного разряда (ППР) при поступлении паров воды из термохимического источника паров (ТИПВ) в вакуумную камеру установки ПР-2. Все измерения проводились с помощью встроенного анализатора, работающего в собственном поле установки в одинаковых режимах горения ППР, мощность разряда составляла около 200 Вт. Напуск паров воды осуществлялся с помощью ТИПВ при максимальной величине потока паров воды $3 \cdot 10^{17}$ молекул/сек.

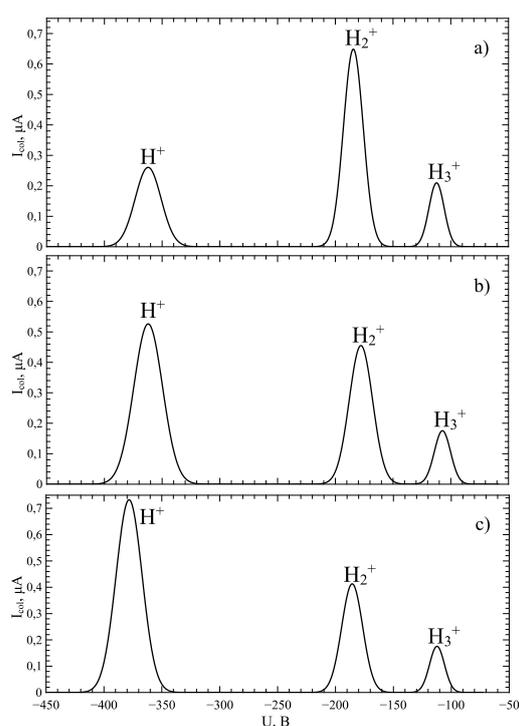


Рис. 1. Ионный состав водородной плазмы ППР в установке ПР-2 :
а) без добавления паров воды; б) 30 минут; в) 60 минут после включения ТИПВ со скоростью натекаения $3 \cdot 10^{17}$ мол/с

Обнаружен эффект перераспределения ионных компонентов водородной плазмы ППР (рис.1) с увеличением по мере напуска в разряд паров воды доли протонов.

Предполагается, что эффект связан с несколькими факторами. Во-первых, возможное окисление стенки вакуумной камеры при попадании воды приводит к уменьшению коэффициента рекомбинации атомов и, следовательно, к увеличению их концентрации в разряде, устанавливающейся в плазме по достижении состояния динамического равновесия. Во-вторых, можно предположить участие радикалов OH в разрушении части молекулярных ионов водорода H_2^+ , приводящих к увеличению концентрации атомарного.

Данный эффект наблюдается в течение какого то времени и после выключения напуска воды, что связано с постепенной десорбцией воды со стенок разрядной камеры.

Максимизация протонной компоненты в газоразрядных источниках с помощью небольшой добавки в разряд паров воды оказывается энергетически более эффективной по сравнению с методом увеличения протонной компоненты за счет увеличения мощности разряда. При этом ресурс установки увеличивается за счет уменьшения плотности потоков на стенки в разрядах меньшей мощности.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛАЗМЫ С ВОЛЬФРАМОВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

К.М. ГУТОРОВ, И.В. ВИЗГАЛОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО, И.А. СОРОКИН

Проведены эксперименты по исследованию эмиссионных характеристик образца из поликристаллического вольфрама в водородной плазме пучково-плазменного разряда в открытой ловушке ПР-2. Образец вводился в разряд на охлаждаемом водой вводе так, что подвергался облучению центральной частью плазменного шнура, содержащей быструю группу электронов. Периферия разряда отсекалась молибденовой диафрагмой. Вольтамперные характеристики определялись при следующих параметрах разряда: магнитное поле – 800 Гс, ускоряющее напряжение электронной пушки – 1 кВ, ток пушки – 180 мА, температура образца у основания – 70 °С, рабочий газ – водород, давление в области пушки – $4 \cdot 10^{-5}$ торр.

Форма ВАХ определялась в режиме импульсной развертки при подаче серии из нескольких нарастающих по амплитуде отрицательных импульсов, что давало результирующую картину из нескольких участков ВАХ, соответствующим различным импульсам (рис. 1). Видно, что за время между двумя последовательными импульсами (1 и 2 на рис.1), ВАХ сместилась в сторону увеличения тока. Такое поведение свидетельствует о большом вкладе мощности в разряд вторично-эмиссионными электронами.

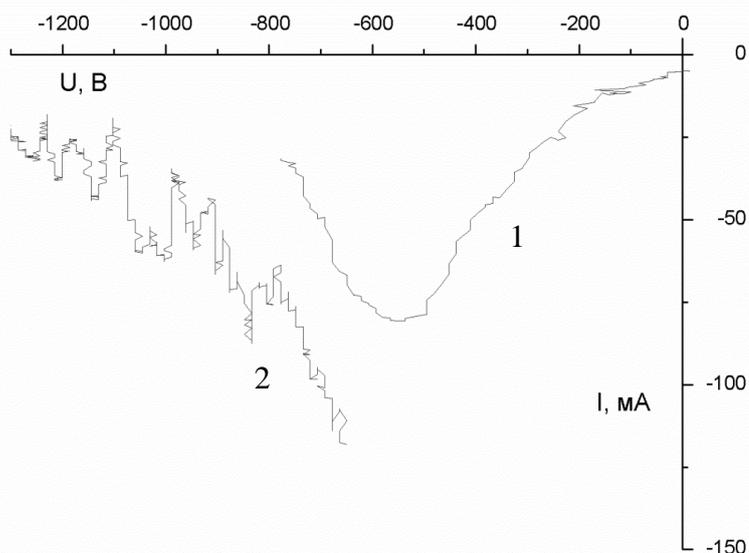


Рис. 1. ВАХ вольфрамового образца, приведенные участки соответствуют первому и второму импульсам развертки

Полученные ВАХ наглядно демонстрируют наличие падающего участка и позволяют определить его границы по напряжению от -1200 В до -600 В. В этом диапазоне смещений возможно развитие вторично-эмиссионных неустойчивостей протекания тока в цепи вольфрамового электрода. Такие неустойчивости были зарегистрированы при стационарном смещении вольфрамового образца -700 В. Разряд переходил в режим с колебаниями напряжения на образце умеренной амплитуды (30% стационара) и тока через образец высокой амплитуды (200% стационара).

Полученные данные могут быть использованы для оценки возможности развития индуцированных поверхностью неустойчивостей в токамаках с вольфрамовыми элементами обращенной к плазме поверхности.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМЫ НА ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАКУУМНОЙ ИСКРЫ

О.А. БАШУТИН, Е.Д. ВОВЧЕНКО, Э.И. ДОДУЛАД, А.С. САВЕЛОВ,
С.А. САРАНЦЕВ

При разработке источников рентгеновского излучения на основе пинчевых разрядов немаловажную роль играет понимание влияния электродной системы на параметры и состав образующейся плазмы. Особенно актуально это для вакуумных разрядов, где материал электродов является основным поставщиком рабочего вещества разряда. Нами были продолжены ранее начатые исследования влияния электродной системы на излучательные характеристики сильноточного вакуумного искрового разряда.

Исследования проводились для различной геометрии рабочих электродов и разной полярности приложенного к ним напряжения. Помимо стандартной конфигурации с внутренним острым и плоским внешним электродами исследованы конфигурации с плоским внутренним и внешним острым электродами, а также с обоими острыми электродами одинакового размера. Оценка влияния электродов на излучательные характеристики плазмы производилась по K_{α} -излучению соответствующих материалов из области развития разряда. Для этого электроды в каждой из пар изготавливались из различных материалов. Регистрации излучения из разряда осуществлялась двумя фокусирующими спектрографами, настроенными на соответствующие спектральные диапазоны.

Проведенные исследования показывают существенную зависимость структуры и состава излучающей плазмы сильноточного вакуумного искрового разряда от формы электродов и соотношения их геометрических размеров. Распределение напряженности электрического поля, задаваемое геометрией электродной системы, влияет на процессы в поверхностных слоях электродов и в приэлектродных областях и определяет начальное распределение плазмы в межэлектродном пространстве.

При использовании электродных систем с внутренним острым катодом, вне зависимости от геометрии анода, наблюдается характеристическое излучение как материала катода, так и анода, причем вклады обоих электродов в излучение в K_{α} линиях соответствующих материалов сравнимы по величине. При использовании внутреннего острого электрода в качестве анода, его материал становится определяющим при формировании излучающей плазмы. Интенсивность характеристического излучения материала электрода возрастает с увеличением напряженности электрического поля у его поверхности.

Пинчевание разряда с образованием «горячих точек» преимущественно происходит в эрозионной плазме электрода, характеризующегося максимальной напряженностью электрического поля, вне зависимости от его полярности и месторасположения. Вместе с тем, наиболее высокие параметры плазмы, обеспечивающие образование ионов высших кратностей ионизации, достигались при размещении электрода острой геометрии на внутреннем токовом и при его положительном потенциале.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости выбора оптимальной геометрии электродной системы при создании источников излучения на основе вакуумных искровых разрядов, особенно при использовании электродов, изготавливаемых из различных материалов.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МИКРОПИНЧЕВОГО РАЗРЯДА ПРИ ПОМОЩИ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

А.В. БАЛОВНЕВ, Э.И. ДОДУЛАД, А.С. САВЕЛОВ, Г.Х. САЛАХУТДИНОВ

Работа выполнена на сильноточной импульсной микропинчевой установке «Зона-2». Исследования спектра и мощности рентгеновского излучения проводилось при помощи многоканального спектрометра на основе термолюминесцентных детекторов и набора поглощающих фильтров различной толщины. В ходе экспериментов наблюдается зависимость выхода рентгеновского излучения от разрядного тока и конфигурации электродов, в том числе при их естественной эрозии. Получены количественные оценки этих изменений. При этом спектр рентгеновского излучения не претерпевает значительных изменений.

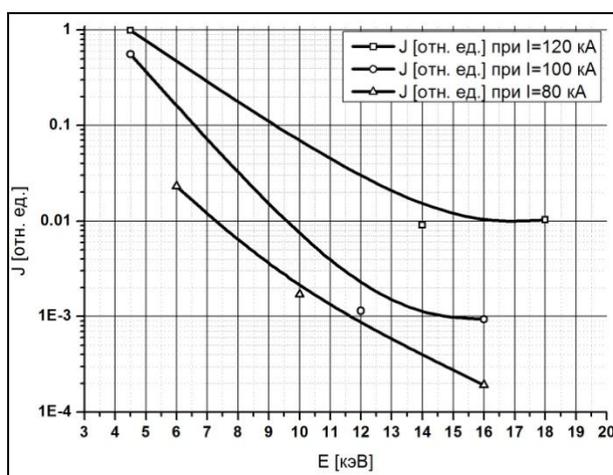


Рис. 1. Спектры рентгеновского излучения при различной величине разрядного тока

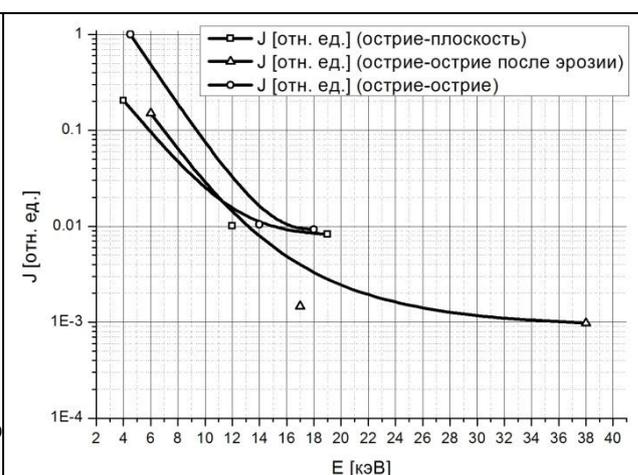


Рис. 2. Спектры рентгеновского излучения при различной конфигурации электродов

Ток разряда, кА	Энергия рентгеновского излучения, Дж	Коэффициент преобразования	Конфигурация электродов	Энергия рентгеновского излучения, Дж	Коэффициент преобразования
120	1,524	$6,77 \cdot 10^{-4}$	Острие-плоскость	0,311	$1,38 \cdot 10^{-4}$
100	0,853	$8,53 \cdot 10^{-4}$	Острие-острие	1,524	$6,77 \cdot 10^{-4}$
80	0,038	$6,76 \cdot 10^{-5}$	Острие-острие (после эрозии)	0,228	$1,01 \cdot 10^{-4}$

Графики не имеют значительных различий, что позволяет сделать вывод, что процессы, приводящие к пинчеванию и генерации излучения излучения, принципиально не отличаются для различных конфигураций электродов.

Естественное изменение формы электродов за счет распыления приводит к уменьшению выхода рентгеновского излучения и по своей эффективности приближается к форме 2-х плоскостей, что значительно ниже эффективности конфигурации двух острий.

Кроме того, нетрудно заметить, что уменьшение разрядного тока до 100 кА привело к уменьшению интенсивности излучения более чем 2 раза. Это легко объясняется в рамках все той же радиационной модели снижением энергии электронов, бомбардирующих анод, а, следовательно, и уменьшением испарения его поверхности, приводящим к уменьшению общего числа частиц, задействованных в разряде.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что для сохранения эффективности источника и поддержания высокого выхода рентгеновского излучения необходимо, чтобы ток разряда был не ниже 100 кА.

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОРПУСКУЛЯРНЫХ ПОТОКОВ ИМПУЛЬСНОЙ ПЛАЗМЫ

О.А. БАШУТИН, Е.Д. ВОВЧЕНКО, Э.И. ДОДУЛАД, А.С. САВЁЛОВ, С.А. САРАНЦЕВ

Информация о газокINETическом давлении плазмы необходима для многих практических приложений, а также при моделировании взаимодействия высокоэнергетичных потоков импульсной плазмы с мишенью.

Прямые измерения давления потоков плазмы в разряде зачастую невозможны по причине недостаточной электрической и механической прочности датчика. Кроме того, такие методики имеют низкое временное разрешение, которого зачастую недостаточно для получения информации о временной динамике давления корпускулярных потоков.

Нами предложена лазерная методика, разработанная на основе интерферометра Майкельсона для измерения временной динамики газокINETического давления плазмы при изменении величины давления от сотых долей до нескольких сотен бар. Временное разрешение метода ограничивается быстродействием фотодетекторов и составляет ~ 1 нс. Разработанная схема была апробирована на установке «Зона-2» (НИЯУ МИФИ) при исследовании микропинчового разряда типа низкоиндуктивная вакуумная искра (НВИ).

Для измерения давления плазмы микропинчового разряда в качестве детектора используется акустический стержень, встроенный в оптическую схему лазерного интерферометра. Через резиновое уплотнение во фланце стержень вводится в вакуумную камеру. Один торец стержня помещается в области разряда НВИ с возможностью регулировки его положения относительно оси электродного промежутка. Отполированный с оптическим качеством противоположный торец с алюминиевым напылением используется в качестве зеркала в измерительном плече интерферометра. Импульс давления плазмы длительностью τ возбуждает в стержне волну сжатия, распространяющуюся в стержне со скоростью $c_0 = (E/\rho)^{1/2}$, где E – модуль упругости, ρ – плотность материала стержня [1] и $\tau \cdot c_0 < L$. Смещение торца стержня может быть измерено методами лазерной интерферометрии с высокой точностью. Тогда давление при учете того, что массовая скорость распространения звуковой волны в стержне равна половине скорости движения свободного торца, может быть рассчитано по формуле:

$$P \left(t - \frac{L}{c_0} \right) = \frac{\rho c_0}{2} \cdot \frac{d\phi(\tau L)}{dt}$$

При использовании ранее полученных распределений электронной плотности периферийной плазмы по радиусу [2] были получены значения скорости ионной составляющей плазмы.

Параллельно зависимость скорости ионной составляющей эмитируемых микропинчовым разрядом потоков в зависимости от энерговклада в разряд исследована с помощью многосеточного зонда. Экспериментальные результаты, полученные с помощью обеих методик, близки друг другу.

Список литературы:

- [1] D. Baganoff // Rev. Sci. Instrum. 1964. Vol. 35. №3. P. 288–295.
- [2] Бялковский О.А., Кузнецов А.П., Савёлов А.С. и др. // Физика плазмы. 2008. Т.34. №3. С. 219-225.

МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПЛАЗМЕ СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

И.Г. ГРИГОРЬЕВА, А.С. САВЕЛОВ, Г.Х. САЛАХУТДИНОВ

Для исследования импульсного рентгеновского и корпускулярного излучения плазмы сильноточных разрядов и дальнейшего развития физической картины явлений в плазме был создан комплекс диагностической аппаратуры. Эксперименты проводились на установках «плазменный фокус» и «низкоиндуктивная вакуумная искра». В установках низкоиндуктивная вакуумная искра с инициацией разряда от вспомогательных разрядных устройств эрозийного типа рабочей средой разряда служили продукты эрозии материала электродов. Сила тока в разряде в экспериментах изменялась в пределах $I \approx 30 - 250$ кА. Установка «плазменный фокус» имела разрядную камеру с эллиптическими электродами мейзеровского типа и рассчитана на работу с разрядным током до 360 кА. Энергозапас конденсаторной батареи порядка 4 кДж.

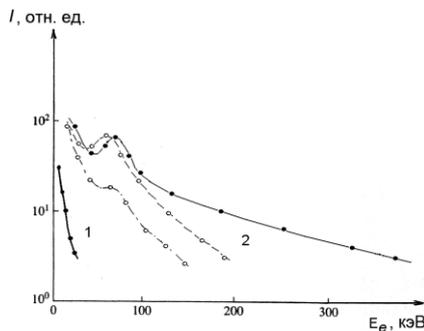


Рис. 1. Спектры быстрых электронов из плазмы железа при различных значениях тока разряда: 1 – < 50 кА; 2 – 150 кА (три последовательных разряда)

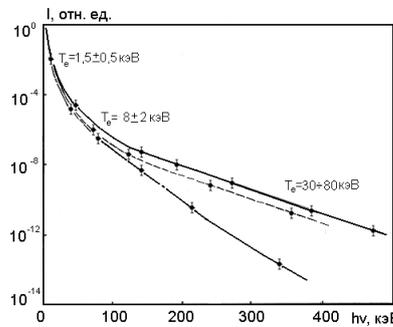


Рис. 2. Типичные спектры излучения плазмы с электродами из железа, полученные при токе разряда 150 кА

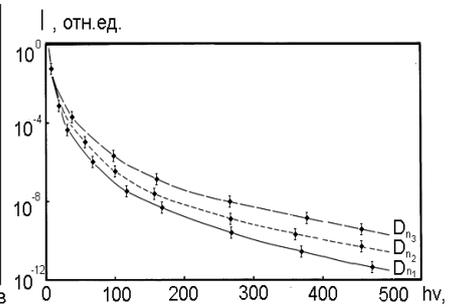


Рис. 3. Типичные спектры РИ плазмы ПФ, полученные при разном выходе нейтронного излучения $n_1 = 10^5$, $n_2 = 10^6$, $n_3 = 10^7$

Эксперименты по измерению спектров рентгеновского излучения (РИ) с одновременной непосредственной регистрацией электронов магнитным спектрометром (рис. 1), (рис. 2) на установке «низкоиндуктивная вакуумная искра» показали, что высокоэнергетические части этих спектров (> 100 кэВ) коррелируют между собой. Наличие высокоэнергетичных электронов в спектре соответствует наличию высокоэнергетичного РИ ($h\nu > 100$ кэВ) в рентгеновском спектре, что указывает на наличие ускорительных процессов, приводящих к возникновению данного излучения. Как и рентгеновские спектры, спектры электронов имеют хорошую повторяемость в области энергий до 80 кэВ, далее спектр меняется случайным образом от разряда к разряду аналогично рентгеновскому спектру. Непостоянство спектра определяется вероятностным характером протекания ускорительных процессов.

Проведенные измерения спектров РИ, одновременно с измерением выхода нейтронов на установке «плазменный фокус» (рис. 3), позволили установить влияние ускорительных процессов на образование в плазме жесткого рентгеновского и нейтронного излучений и их взаимосвязь. Чем выше выход жесткого рентгеновского излучения, тем выше выход нейтронного излучения в ходе плазмофокусного разряда.

Полученные результаты свидетельствуют об ускорительной природе возникновения жесткого рентгеновского излучения вследствие быстрого роста аномального сопротивления плазмы за счет микротурбулентности.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ПЛАЗМЕ РАЗРЯДА В ЭЛЕКТРОЛИТЕ

Д.Л. КИРКО, А.С. САВЕЛОВ

Разряды в воде и электролитах сопровождаются возникновением излучающей плазмы, парогазовой оболочки и сильных турбулентных потоков жидкости. Прохождение импульсного тока в плазменной среде приводит к появлению плазменных колебаний и волн.

Разряд формируется в камере из оргстекла, в которую помещается электролит, приготовленный с помощью карбоната натрия. Для питания разряда используется двухполупериодный выпрямитель, который создает напряжение 0-250 В при частоте 100 Гц. При работе установки плазменная область существует в непосредственной близости к катоду и окружается парогазовой оболочкой. Характерным цветом свечения разряда является желто-красный. Для изучения спектрального состава излучения данного разряда использовался спектрометр Ava Spec 2048 и монохроматор МУМ. Наиболее интенсивными являются линии: атомарного натрия Na I 589 нм, 819 нм, иона натрия Na II 309 нм, атомарного вольфрама W I 374 нм, 384 нм, и линии атомарного водорода серии Бальмера H_α 656 нм, H_β 486 нм, H_γ 434 нм. С помощью метода относительных интенсивностей спектральных линий по линиям атомарного водорода была измерена температура плазмы, которая составила $T = 3400 \pm 200$ К в рабочем режиме разряда при величине тока $I = 0,75 \pm 0,15$ А. Полученные временные зависимости интенсивностей спектральных линий хорошо коррелируют с временной зависимостью тока.

На рабочем участке вольтамперная характеристика является приблизительно линейной. Значения силы тока и напряжения на данном участке находятся в диапазонах: $I = 0,4 - 0,9$ А и $U = 150 - 210$ В. Размеры плазменной области составляют 1,0-1,5 см. На данном участке в цепи тока регистрируются интенсивные высокочастотные колебания. Для изучения высокочастотных колебаний были использованы магнитные зонды и осциллограф Tektronix TDS 2024B.

Импульсы зондовых измерений находятся в хорошей корреляции с импульсами тока разряда. На зависимостях для тока разряда данные колебания присутствуют в начале каждого периода. В экспериментах были обнаружены высокочастотные колебания в диапазоне 10 кГц-100 МГц. Для детального исследования спектрального состава данных колебаний использовался анализатор С4-25, с помощью которого была получена зависимость амплитуды сигнала от частоты. В данном распределении достаточно интенсивные пики расположены на частотах: 45 ± 2 кГц, 60 ± 2 кГц, 210 ± 3 кГц, 270 ± 3 кГц, $8,5 \pm 0,4$ МГц, $11,3 \pm 0,4$ МГц, $35,2 \pm 0,4$ МГц, $40,1 \pm 0,4$ МГц, $45,3 \pm 0,4$ МГц, $48,6 \pm 0,4$ МГц.

Для объяснения данной частотной зависимости требуется рассмотреть возможные плазменные процессы, имеющие близкие частоты. В присутствии магнитного поля тока разряда в плазме могут существовать электронно-циклотронные и ионно-циклотронные волны. Наиболее вероятной областью возникновения плазменных волн может являться область плазмы в непосредственной близости от острия катода. Электронные и ионные циклотронные частоты для магнитного поля $B = 20$ Гс равны соответственно: $\omega_{Be} = eB/m_e = 3,5 \cdot 10^8 \text{ c}^{-1}$ и $\omega_{Bi} = eB/m_p = 1,9 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$. С учетом дисперсионного уравнения для наблюдаемой в экспериментах частоты $\nu = 11,3$ МГц значения длины волны и скорости электронно-циклотронной волны равны соответственно: $\lambda = 0,17$ см и $\nu = 1,8 \cdot 10^6$ см/с. При частоте $\nu = 270$ кГц аналогичные значения будут следующие: $\lambda = 1,3$ см и $\nu = 3,5 \cdot 10^5$ см/с. Для проведенных опытов электронно-циклотронные волны являются более предпочтительными при объяснении наблюдаемых высокочастотных колебаний, и будут соответствовать диапазону основных частот $\nu = 20$ кГц–60 МГц, зарегистрированных в экспериментах.

ВЛИЯНИЕ НАПУСКА КСЕНОНА НА ТРАНСПОРТИРОВКУ ИНТЕНСИВНОГО ПУЧКА ИОНОВ H^-

Ф.С. ПОДОЛЯКО, И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ, А.Н. ЗЕЛЕНСКИЙ*,
G. ATOIAN*, J. RITTER*

*Brookhaven National Laboratory, 2 Center Street, Upton, NY 11973, USA

В результате модернизации источника поляризованных ионов H^- с оптической накачкой OPPIS RHIC (BNL) значительно увеличена интенсивность первичного атомарного пучка. Это привело к возникновению различного рода неустойчивостей, связанных с объемным зарядом пучка. Обнаружены существенные ограничения по току при перезарядке атомарного пучка в H^- в Na пароструйной мишени, уменьшающие примерно на порядок ток ионов H^- по сравнению с расчетным значением.

На рис.1 представлены результаты измерений выходного тока отрицательных ионов водорода от температуры испарителя натрия для энергии первичного пучка 6 кэВ. Хорошо видно, что с увеличением плотности паров натрия выходной ток H^- не возрастал, а при энергии 4 кэВ даже уменьшался. Для устранения этого эффекта в тракт мишенного узла дополнительно вводился буферный газ Xe. Выбор этого газа определялся химическими свойствами (инертностью), сравнительно большим сечением ионизации, малой нагрузкой на вакуумную систему за счёт большой массы и высокой эффективностью откачки криогенными насосами. Добавка Xe значительно увеличила выход H^- (рис. 1). Ток H^- с ростом температуры испарителя продолжал монотонно расти до значения, близкого к выходу равновесной мишени, при котором перестает меняться компонентный состав на выходе из мишени, при оптимальном соотношении плотностей паров натрия и ксенона. На рис. 2 приведены сигналы с цилиндра Фарадея при энергии пучка 4 кэВ без напуска и с напуском Xe. Без добавления ксенона наблюдаются шумы с глубиной модуляции 20% и завал фронта пучка, чего не наблюдается с добавкой Xe. Также обнаружено, что при энергии 8 кэВ фактически не требуется напускать ксенон.

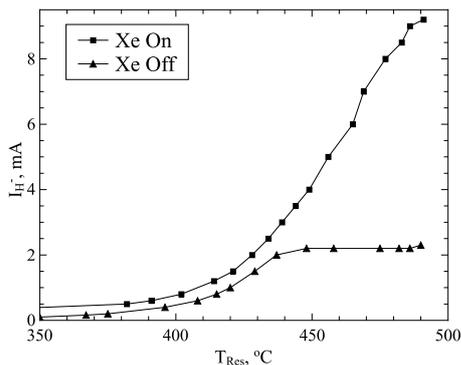


Рис. 1. Зависимость тока H^- от температуры нагревателя Na мишени с напуском и без напуска Xe для энергии пучка 6 кэВ

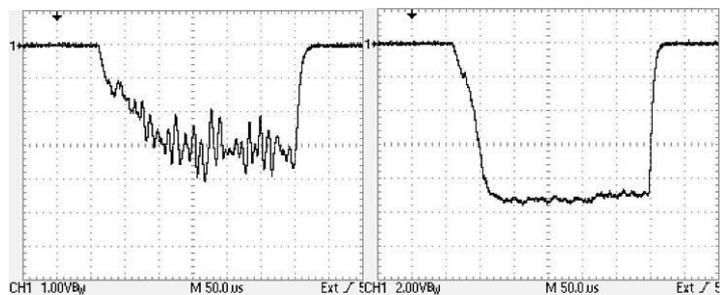


Рис. 2. Сигналы с цилиндра Фарадея при энергии пучка 4 кэВ без напуска и с напуском Xe. Колебания тока пучка на левом графике вызваны колебаниями его потенциала

Обнаружены следующие положительные эффекты от инъекции Xe: 1) нейтрализация объемного заряда в протяженном тракте транспортировки H^- медленными ионами Xe^+ ; 2) подвижные электроны, образующиеся при ударной ионизации атомов ксенона, успевают компенсировать объемный заряд ионов Na^+ в мишени; 3) увеличение выхода быстрых H^+ , возможность создания синтезированных пучков.

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПУЧКОВ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ H⁻ НА OPPIS RHIC (BNL)

Ф.С. ПОДОЛЯКО, И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ, А.Н. ЗЕЛЕНСКИЙ*,
G. ATOIAN*, J. RITTER*

*Brookhaven National Laboratory, 2 Center Street, Upton, NY 11973, USA

Замена ЭЦР источника на источник атомарного пучка, основанный на инжекторе ДИНА (ИЯФ), в источнике OPPIS RHIC привела к необходимости создания дополнительных элементов системы. Создана гелиевая перезарядная мишень и размещенная после нее система торможения (рис.1), позволяющая разделять поляризованную и неполяризованную компоненты пучка при его инжекции в линейный ускоритель. На рис.2 приведена зависимость эффективности транспортировки ионов H⁻ от ускоряющего напряжения, приложенного к натриевой мишени для первичного 7 кэВ пучка и для поляризованного (замедленного до 4 кэВ). При включении ускоряющего напряжения 32 кВ неполяризованный компонент с начальной энергией 7,0 кэВ, ускоренный до 39 кэВ, сильно подавлен (менее 2% от поляризованного компонента пучка).

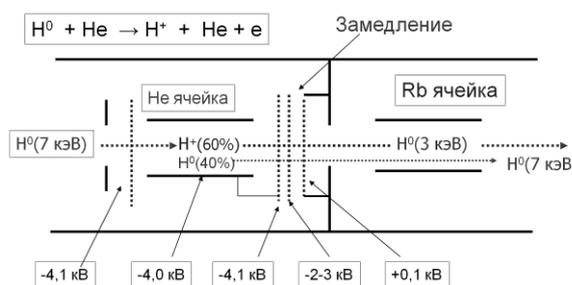


Рис. 1. Схема гелиевой ячейки и системы торможения

Зависимости интенсивности разделенного по энергиям пучка (I_{FC4}) и его поляризации от толщины рубидиевой мишени представлены на рисунке 3. Эти измерения подтвердили значительные поляризации на уровне 80-85%. Максимальное значение поляризации достигается при токах 400 – 600 мА. Неполяризованный компонент, полученный при нейтрализации на остаточном газе, создает ток менее 0,03 мА, тем самым, разбавляя поляризацию менее чем на 2%.

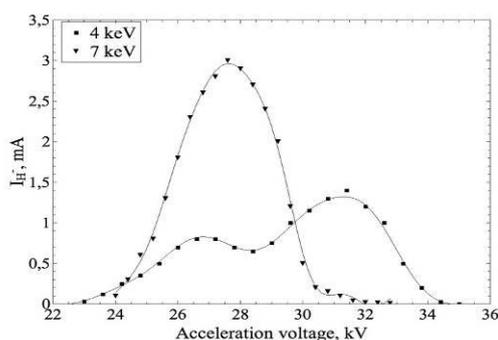


Рис. 2. Зависимость эффективности транспортировки ионов H⁻ от ускоряющего напряжения для первичного 7 кэВ пучка и для поляризованного и замедленного до 4 кэВ

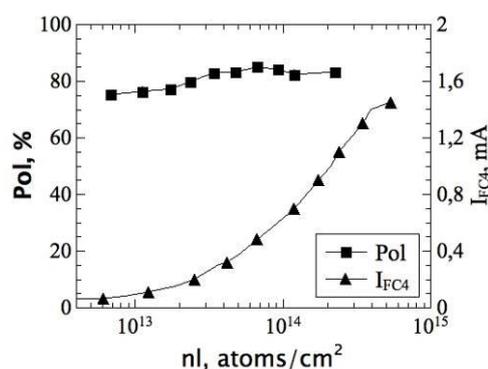


Рис. 3. Зависимости интенсивности поляризованного пучка и его поляризации от толщины паров рубидия

Максимальный полученный ток составляет 1,4 мА. Около 60-80% этого пучка может быть ускорено в линейном ускорителе до 200 МэВ. Максимальная поляризация пучка равна 85% при токе порядка 400 мкА. Источник будет работать во время сеанса RHIC в 2013 году.

3. ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЫ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ МЕДИ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ИЗМЕНЕНИЕМ РЕЛЬЕФА РАСПЫЛЯЕМЫХ ОБРАЗЦОВ

Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, О.И. БУЖИНСКИЙ*, С.В. ВЕРГАЗОВ, А.М. ЗАХАРОВ,
А.П. КУЗНЕЦОВ**, В.И. ФРОЛОВ**, К.И. ЯМСКОВ***

* - ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Москва

** - кафедра №37 НИЯУ МИФИ

*** - ФИАН им.П.Н.Лебедева, Москва

Эксперименты по изучению возможности наблюдения изменения рельефа поверхности образцов в процессе их распыления в плазме с помощью лазера на парах меди проводились на стенде, схема которого приведена на рис. 1. Луч лазера фокусировался с помощью оптической системы и проходил сквозь плазму на поверхность образца. Рассеянный образцом свет проходил через оптическую систему в обратном направлении, в том числе через активную среду лазера. Большое усиление активной среды (10^1 — 10^2 дБ/м) дает возможность использовать лазер на парах меди в качестве активного элемента оптической системы, избирательно усиливающего яркость изображения на длине волны, излучаемой лазером. Изображение фиксировалось фотокамерой.

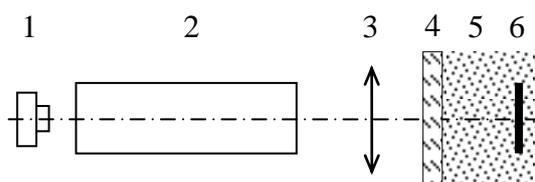


Рис. 1. Схема установки. 1 – фотокамера, 2 – лазер, 3 – конденсор/объектив, 4 – окно вакуумной камеры, 5 – плазма, 6 – образец

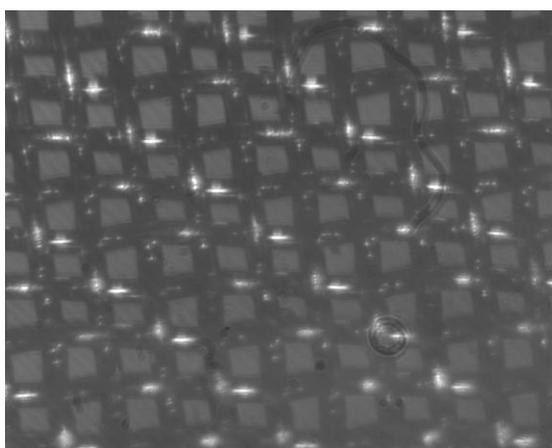


Рис. 2. Изображение сетки с шагом 60 мкм

В качестве объектива (3) в экспериментах использовалась линза с фокусным расстоянием 20 см и диаметром 5 см. Апертура была дополнительно ограничена диаметром рабочей области лазера и составляла приблизительно 2 см. Была проведена оценка разрешающей способности системы. По критерию Рэля, предельное угловое разрешение составляет $\delta = 1,22 \lambda / D$, где λ – длина волны света (510,6 нм для основной, зеленой, линии лазера на парах меди), D – диаметр рабочей области лазера. Линейное разрешение на объекте равно произведению углового разрешения на расстояние от объектива до объекта, которое близко к фокусному расстоянию линзы $\Delta = \delta \cdot F \approx 6$ мкм. Экспериментально полученное разрешение оказалось близким к теоретическому пределу.

На рис.2 представлено изображение сетки с шагом 60 мкм, полученное с помощью описанной системы.

СКОРОСТНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СИЛЬНОТОЧНОГО ИМПУЛЬСНОГО ДИФFUЗНОГО РАЗРЯДА

А.В. КАЗИЕВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО

В рамках исследования импульсного сильноточного диффузного разряда (СДР) на экспериментальном стенде «ПИНЧ» проведена оптическая диагностика плазменных образований для последующей классификации форм импульсного разряда низкого давления ($p \sim 10^{-3}$ – 10^{-2} торр) и определения условий их реализации в магнетронных устройствах.

Экспериментальное разрядное устройство состоит из системы аксиально-симметричных электродов, поверхность которых повторяет профиль силовой линии магнитного поля с топологией типа антипробкотрон (касп). Магнитное поле создается двумя катушками постоянного тока, включёнными навстречу [1].

Регистрация протекающих процессов проводилась с помощью девятикадровой электронно-оптической камеры (ЭОК) VIFO K011. Этот прибор позволяет получать изображения объекта с программируемыми длительностями кадров (0,1–100 мкс) и межкадровых пауз (0,1–100 мкс). Одновременно с помощью спектрометра Avantes AvaSpec-2048x14 проводилась оптическая эмиссионная спектроскопия плазмы.

Эксперименты проводились как в присутствии выделенного профилированного анода, так и без него (при этом в качестве анода выступали стенки вакуумной камеры). Показано, что при удалении выделенного анода реализуются те же формы импульсного разряда, что и при его наличии, однако в этом случае съёмки с помощью ЭОК и спектральная диагностика излучения плазмы позволяют получить больше информации о процессах, происходящих в разрядном промежутке. На рис. 1 показаны изображения СДР, полученные в обеих модификациях разрядного промежутка. Время экспозиции 1 мкс (квазистационарная фаза).

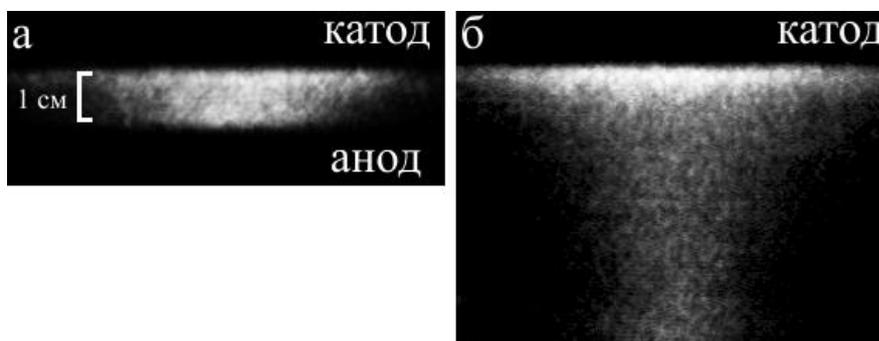


Рис. 1. Изображения, полученные с помощью ЭОК в разрядном устройстве: а) с профилированными катодом и анодом; б) с профилированным катодом

Показано, что в случае появления отчётливой неоднородности свечения вблизи поверхности катода (предположительно, дуговой привязки) спектр излучения плазмы содержит линии, соответствующие материалу катода. В противном случае, при отсутствии контракции, эти линии не обнаруживаются.

Проведённая оптическая диагностика позволила визуализировать процессы перехода сильноточного импульсного магнетронного разряда в квазистационарную диффузную форму, а затем — в дуговой режим, а также наглядно представить процесс заполнения магнитной ловушки при реализации СДР.

Список литературы:

- [1] Ходаченко Г. В., Мозгрин Д. В., Фетисов И. К., Степанова Т. В. Нераспыляющий импульсный магнетронный разряд // Физика плазмы. 2012. Т. 38. С. 78–86.

ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СИЛЬНОТОЧНОГО ИМПУЛЬСНОГО МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА

А.В. КАЗИЕВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО

На стенде «ПИНЧ» проведены предварительные эксперименты по оптической диагностике плазмы сильноточного импульсного магнетронного разряда (СИМР). Использование этого типа разряда в задачах напыления тонких плёнок позволяет с большой скоростью получать однородные покрытия с высокой адгезией к подложке [1]. Подобная форма разряда активно исследуется за рубежом и имеет устоявшееся название — high-power impulse magnetron sputtering (HiPIMS) [2].

В последние годы для исследования импульсных магнетронных форм газового разряда широко применяются скоростные электронно-оптические камеры (ЭОК) [3, 4]. При этом во многих случаях обнаружены отчётливые неоднородности излучения плазмы, что привело к появлению ряда гипотез о развитии в таких разрядах различных типов неустойчивостей. Задачей данной работы является оптическая диагностика СИМР в области низких давлений ($p \sim 10^{-3}$ – 10^{-2} торр).

Экспериментальное разрядное устройство представляет собой планарный магнетрон. Импульс высокого напряжения прикладывается к разрядному промежутку при коммутации искусственной длинной линии с максимальным общим энергозапасом 9 кДж.

Регистрация протекающих процессов проводилась посредством девятикадровой электронно-оптической камеры VIFO K011. На рис. 1. представлены изображения, полученные с помощью ЭОК. Время экспозиции 5 мкс (квазистационарная фаза).

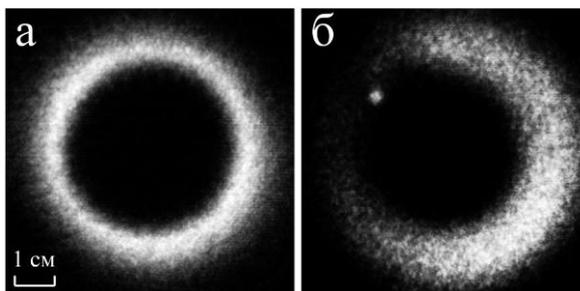


Рис. 1. Изображения, полученные с помощью ЭОК: а) СИМР; б) дуговая привязка

Проведённые предварительные эксперименты позволили визуализировать переход СИМР в дуговой режим с вращающимся катодным пятном. Обнаружены неоднородности свечения плазмы СИМР, которые могут быть вызваны развитием неустойчивостей.

Список литературы:

- [1] Ходаченко Г. В., Писарев А. А., Крашевская Г. В. и др. Ионно-плазменная генерация тонкого TiN-покрытия фольги электролитических конденсаторов // Известия РАН. Серия физическая. 2010. Т. 74. С. 277–283.
- [2] Gudmundsson J. T., Brenning N., Lundin D., Helmersson U. // High power impulse magnetron sputtering discharge // Journal of Vacuum Science and Technology A. 2012. V. 30. P. 030801:1–35.
- [3] Козырев А. В., Сочугов Н. С., Оскомов К. В. и др. Оптические исследования неоднородностей в плазме сильноточного импульсного магнетронного разряда // Физика плазмы. 2011. Т. 37. С. 667–673.
- [4] Anders A., Ni P., Rauch A. Drifting localization of ionization runaway: Unraveling the nature of anomalous transport in high power impulse magnetron sputtering // Journal of Applied Physics. 2012. V. 111. P. 053304:1–13.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АНОМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ В АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА НА УСТАНОВКЕ ПР-2

А.В. БАЛОВНЕВ, И.В. ВИЗГАЛОВ, И.Л. МАНОХИН

Целью работы является изучение спектра высокоэнергетической группы электронов в автоколебательном режиме пучково-плазменного разряда (ППР) методами рентгеновской диагностики. Поскольку применение прямых контактных средств диагностики (зондов и энергоанализаторов) связано с возмущением плазмы, а в области больших энергий еще и с высокими напряжениями, использование рентгеновских методов диагностики представляется наиболее оптимальным.

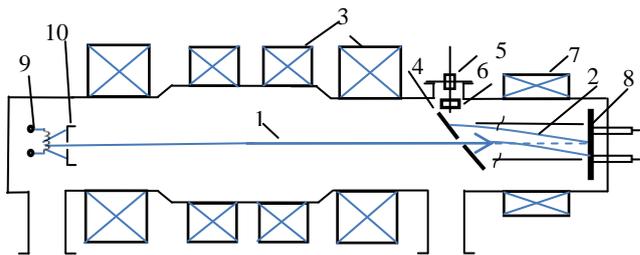


Рис. 1. Схема измерений:

1 - первичный пучок; 2 - обратный поток вторичных и отраженных электронов; 3, 7 - катушки магнитного поля; 4 - молибденовая диафрагма; 5 - илюзовое устройство; 6 - кассета; 8 - коллекторная пластина; 9 - катод; 10 - анод

Аномально высокая эмиссия вторичных электронов лежит в основе механизма положительной обратной связи, приводящей к генерации автоколебаний на резонансных частотах. Для автоколебательного вторично - эмиссионного разряда (АВЭР) прикладываемое напряжение постоянного источника составляет – 200 – 600 В, а амплитуда импульсов возбуждаемых автоколебаний может многократно превышать это значение, определяя особенности спектра высокоэнергетической группы электронов. В данной работе исследовался несамостоятельный режим АВЭР в продольном

магнитном поле с использованием автономной электронной пушки для зажигания первичного ППР. Для разделения первичного и обратного вторично-эмиссионного потоков использован поперечный центробежный дрейф в слабо искривленном магнитном поле. Как показано на рисунке, обратный электронный поток испытывает дрейф в скрещенных магнитном и индуцированном электрическом полях. Этот поток смещается по радиусу кривизны магнитной трубки и попадает на сплошную часть скошенной диафрагмы, что позволяет регистрировать сопутствующее ему рентгеновское излучение.

В работе использован спектрометр на основе ТЛД. Он содержит 13 каналов регистрации, укомплектованных сборками таблеток ТЛД из фтористого лития, расположенных один за другим. Сборки размещаются в углублениях кассеты и закрываются фильтрами ослабления из алюминиевой фольги различной толщины. Тип и толщина используемых фильтров ограничивают чувствительность спектрометра. Минимально измеряемая энергия регистрируемых рентгеновских квантов составляет 4 кэВ. Показания с ТЛД считываются с помощью прибора ДВГ-02ТМ. Спектр рентгеновского излучения восстанавливается методом «серых» фильтров (сигналы с семиборок за фильтрами различной толщины) и методом поглощенной энергии (анализ сигналов ТЛД одной сборки). Для восстановления спектра электронов используется метод эффективных энергий. Проведенные измерения указывают на наличие в обратном потоке группы электронов с энергией, значительно (на порядок) превышающей ее возможный прирост при однократном прохождении осциллирующего коллекторного напряжения. Механизм ускорения, по-видимому, связан с пока недоступными для детектирования мелкомасштабными сверхвысокочастотными модами автоколебаний.

АНАЛИЗАТОР ИОННОГО СОСТАВА ПЛАЗМЫ В СОБСТВЕННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ УСТАНОВКИ ПР-2

И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ, К.М. ГУТОРОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО

Анализ ионного состава пучково-плазменного разряда (ППР) важен при исследовании плазмохимических процессов. Разработан, изготовлен и испытан электромагнитный масс-анализатор (ЭММА) для анализа ионного состава ППР на установке ПР-2.

Анализатор представляет собой статический масс-спектрометр, использующий собственное магнитное поле установки ПР-2 (рис.1). Развертка массового спектра осуществляется изменением ускоряющего ионы потенциала, приложенного между входной щелью спектрометра и щелью в Мо экране, окружающую область плазменного шнура.

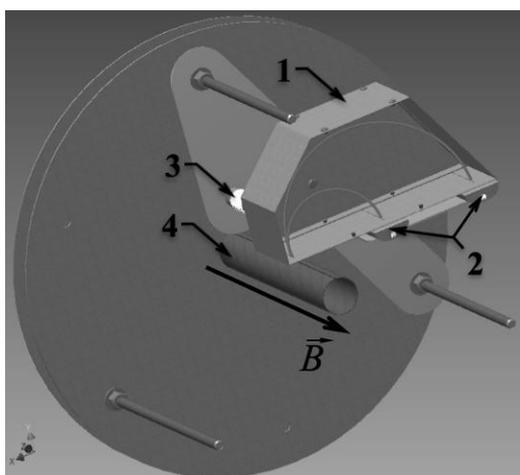


Рис. 1. ЭММА: 1 – внешний заземленный корпус, 2 – коллекторы, 3 – керамический изолятор, 4 – окружающий плазму молибденовый экран с диафрагмой

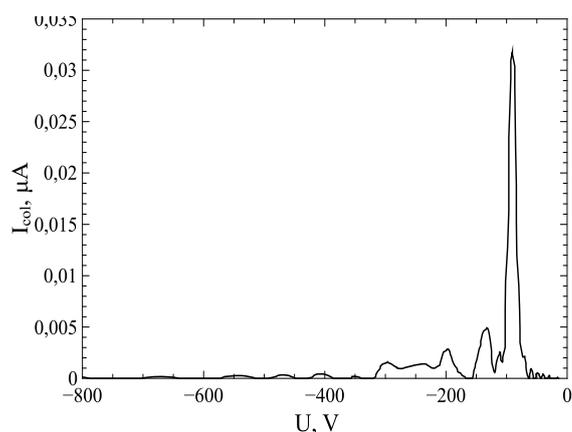


Рис. 2. Ионный спектр аргонной плазмы ППР, зарегистрированный коллектором с большим радиусом центральной траектории ионов

Масс-спектрометр крепится на внешнем заземленном экране в виде набора колец из нержавеющей стали. Внешняя конструкция изготовлена из листовой стали 1,5 мм в Лазерном центре НИЯУ МИФИ. Для анализа ионного состава плазмы центральной области ППР используется ограничивающий эту область цилиндр из Мо толщиной 0,6 мм с щелью 2 мм, которая играет роль первой входной щели ускоряющего промежутка анализатора. Корпус анализатора имеет 3 щели шириной 1 мм – одну входную и 2 выходные. Коллекторы регистрируют ионы, движущиеся по центральным траекториям с радиусами 4,0 и 8,0 см. На корпус подается потенциал, с помощью которого происходит развертка массового спектра. В области коллекторов происходит полукруговая фокусировка по траекториям.

Развертка по напряжению осуществлялась с помощью управляемого источника высокого напряжения AdvanceHivol PSM10 502N. Регистрация массовых спектров и управление напряжением развертки производились с помощью ЦАП/АЦП NI USB 6008. Сигнал с коллекторов для снижения шумов предварительно усиливался внешним усилителем постоянного тока.

Испытания масс-спектрометра показали, что разрешение в области больших масс (при напряжении ниже 100В) недостаточно для анализа ионов с $M/Z > 40$ (рис.2). Для решения этой проблемы планируется разработать конструкцию анализатора с доускорением ионов и полной фокусировкой на 360° .

СИСТЕМА МОНИТОРНОЙ ЗОНДОВОЙ ДИАГНОСТИКИ

С.А. ЛЕПИХОВ, Г.В. КРАШЕВСКАЯ

Реализована система мониторинга зондовой диагностики. Мониторная диагностика подразумевает получение информации о параметрах исследуемого объекта непрерывно во времени, что затруднительно при использовании классических зондовых методов из-за необходимости снятия вольт-амперных характеристик (ВАХ) плазмы и применения довольно сложных методов обьема. Использование модифицированного метода тройного зонда, предложенного в работе [1], не требует изменения напряжения на его электродах, при этом позволяя по простым системам уравнений одновременно определять температуру и концентрацию электронов. Такой зонд имеет три одинаковых близкорасположенных электрода. Два из них включаются по схеме двойного зонда, с напряжением, поданным таким образом, чтобы зонд работал в режиме насыщения. Третий электрод находится под плавающим потенциалом. Принципиальная схема реализованных измерений показана на рис.1.

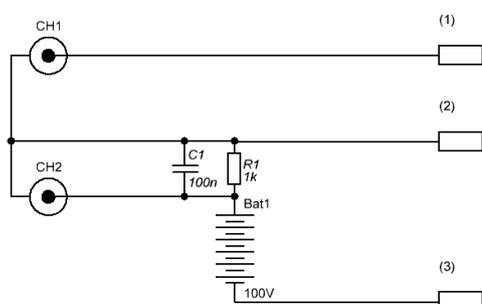


Рис. 1. Принципиальная схема измерений тройным зондом

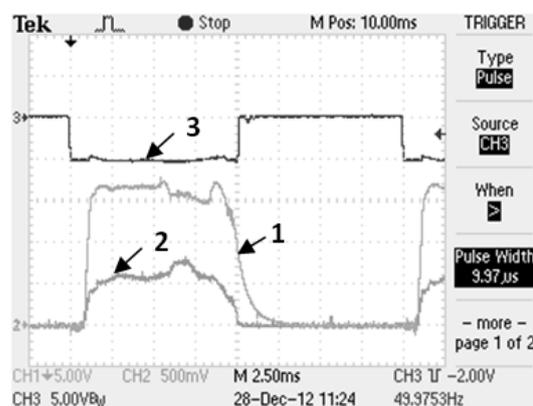


Рис. 2. Осциллограмма трехзондового измерения: 1 – цепь плавающего зонда (температура); 2 – цепь «двойного» зонда (концентрация); 3 – напряжение на магнетроне

Результаты записывались с помощью цифрового запоминающего осциллографа Tektronix TDS2024, позволяющего сохранять данные в электронном виде для последующей обработки на персональном компьютере (рис.2).

С помощью реализованной системы диагностики были получены картины эволюции параметров плазмы магнитной ловушки «Магнетор», на основании которых сделаны следующие выводы:

1. Заполнение ловушки происходит от двух источников – за счет ЭЦР разряда вблизи катушек в области сильного магнитного поля (875 Гс) и посредством разряда в области петлевой антенны СВЧ ввода.

2. Ловушка целиком заполняется плазмой к 3-ей мс от начала генерации магнетрона.

3. При распаде плазмы наблюдается эффект «послесвечения» плазмы, т.е. ионизация при остывании быстрой электронной компоненты, что хорошо видно на осциллограмме электронной температуры.

Список литературы:

[1] Sin-Li Chen et al., J. Appl. Phys., V. 36, N. 8, 1965.

4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ С ВЕЩЕСТВОМ

ЗАХВАТ И ВЫДЕЛЕНИЕ ВОДОРОДА ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПРИ ЕЁ ОБЛУЧЕНИИ В ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ С ПРИМЕСЬЮ КИСЛОРОДА

Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.В. ГРУНИН, В.Н. ЕРМАКОВ, А.С. КАПЛЕВСКИЙ,
Я.А. САДОВСКИЙ, С.В. ВЕРГАЗОВ, П.А. ШИГИН

Работа посвящена изучению особенностей газообмена между плазмой иницированного дейтериевого разряда и стенками вакуумной камеры из нержавеющей стали. Эксперименты производились на установке “МИКМА”. Площадь контактирующих с плазмой элементов вакуумной камеры составляла $\approx 0,1 \text{ м}^2$. Стенки вакуумной камеры охлаждались, их температура во время облучения не превышала 40°C . Поверхность стенки облучалась атомами дейтерия, которые генерировались в рабочем газе ($P_{\text{раб}} = 6,6 \times 10^{-1} \text{ Па}$), состоящем из дейтерия с примесью кислорода (0,5-30%), благодаря диссоциации молекул дейтерия на накаливаемом вольфрамовом катоде. Затем зажигался разряд, и проводилось облучение стенок камеры ионами и атомами дейтерия. В обоих экспериментах проводился масс-спектрометрический анализ газового состава в вакуумной камере. Для измерения количества дейтерия, захваченного в стенку при облучении атомами дейтерия, производилось облучение атомами водорода в рабочем газе, состоящем из водорода с примесью кислорода (0,5-30%), и измерялась десорбция дейтерия.

Концентрация кислорода в рабочем газе	Количество выделившегося из стенки водорода за 40 минут, (N_{H}) ат/см ²	Количество захваченного в стенку дейтерия за 40 минут, (N_{D}) ат/см ²	Отношение ($N_{\text{H}}/N_{\text{D}}$)
0,5%	$1,0 \cdot 10^{17}$	$0,3 \cdot 10^{17}$	3,3
2%	$1,0 \cdot 10^{17}$	$0,5 \cdot 10^{17}$	2,0
10%	$1,7 \cdot 10^{17}$	$0,9 \cdot 10^{17}$	1,9
20%	$2,0 \cdot 10^{17}$	$1,1 \cdot 10^{17}$	1,8
30%	$2,9 \cdot 10^{17}$	$1,5 \cdot 10^{17}$	1,9

Таблица 1. Количество выделившегося из объема стенки водорода и захваченного в стенку дейтерия за 40 минут облучения в рабочем газе с включенным катодом и их отношение

Эксперименты показали, что облучение поверхности нержавеющей стали в указанных выше условиях активирует диффузию водорода из нержавеющей стали, формирование на поверхности и десорбцию молекул H_2O , HDO , D_2O , HD и H_2 . Практически весь кислород во всем исследованном диапазоне концентраций кислорода в газовой смеси участвует в образовании молекул “воды” (H_2O , HDO , D_2O). Выход водорода из объема стали растет с увеличением концентрации кислорода в смеси дейтерия с кислородом (таблица 1). Облучение стенки атомами водорода в смеси водорода с кислородом непосредственно после облучения дейтерием в смеси дейтерия с кислородом приводит к удалению внедренных частиц дейтерия. При этом в сталь захватывается меньше дейтерия, чем было удалено водорода.

УДАЛЕНИЕ ПЕРЕНАПЫЛЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ СЛОЕВ ИЗ ЩЕЛЕЙ ПЕРВОЙ СТЕНКИ ТЯР ПРИ ПОМОЩИ ОЗОНА

А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, М.Л. ДУБРОВ,
Я.А. САДОВСКИЙ, А.Ф. СКРИПИЦЫН

В термоядерных реакторах существует проблема накопления радиоактивного трития в перенапыленных слоях материалов первой стенки. Эти слои осаждаются не только на обращенных к плазме поверхностях, но и в щелях между тайлами первой стенки, что усложняет проблему их удаления. При проведении «кондиционирующих» разрядов в токамаке эффективного удаления перенапыленных слоев из щелей не происходит [1], так как плазма не проникает в щели на всю глубину. Другим способом удаления перенапыленных углеродных слоев является их термическое окисление в атмосфере кислорода, однако температуры, необходимые для эффективного протекания этого процесса, недостижимы в ИТЭР [1,2]. Известно, что озон вступает в реакции окисления при меньших температурах, чем кислород [3], поэтому использование озона для термического удаления перенапыленных углеродных слоев из щелей может быть перспективным методом для термоядерных реакторов.

Нами создан озонатор на основе коронного разряда и проведено весовым методом измерение скорости удаления углерода в зависимости от геометрии щели и температуры.

На первом этапе измерялась скорость взаимодействия кислорода и кислородно-озоновой смеси со свободно лежащими образцами из углеродных материалов. Углеродный композит (CFC) и графит МПГ-8 выдерживались в кислороде при температуре 200°C, 0,3 атм. Скорость травления составляла величину менее 3×10^{-3} мкм/час. При практически тех же параметрах эксперимента (220 °C, 0,3 атм), но уже с добавлением 0,6% озона скорость травления составила около 0,5 мкм/час. При увеличении температуры образцов до 250°C скорость травления составила уже 0,6 мкм/час. Углеродные пленки, полученные на токамаке Т-10, реагировали с озоном примерно с той же скоростью, что и образцы из CFC. Окисление нержавеющей стали 12Х18Н10Т и вольфрама марки ВА в этих условиях пренебрежимо мало.

Для измерения скорости удаления углеродных слоев из щелей были подготовлены специальные сборки из нержавеющей стали, имеющие П-образный профиль, у которого дно и боковые стенки выкладывались исследуемыми образцами. Глубина щели после установки образцов составляла 5 мм, а ширина в различных сборках варьировалась от 2 до 1 мм. Образцы экспонировались в кислородно-озоновой смеси при температуре 250°C и давлении 0,3 атм. Для щели шириной 2 мм скорость эрозии «дна» из CFC составила $0,6 \pm 0,1$ мкм/час, что практически совпадает со значением для плоских образцов. При уменьшении щели в два раза скорость эрозии «дна» составила $0,5 \pm 0,1$ мкм/час. В случае, когда стенки щели также выполнены из CFC, скорость эрозии «дна» оказалась меньше и составила $0,4 \pm 0,1$ мкм/час. Это, скорее всего, связано с уменьшением концентрации озона в щели за счет многократного столкновения с ее стенками.

Скорость эрозии может быть увеличена до десяти раз при большей концентрации озона. Для получения концентраций озона 10-15% предложено использовать высокочастотный барьерный разряд.

Список литературы:

- [1] Tanarro, J.A. Ferreira et al. J.Nucl.Mat.390–391 (2009) 696–700.
- [2] J.W. Davis, A.A. Haasz J. Nucl.Mat.390–391 (2009) 532–537.
- [3] R. Moormann, H.-K. Hinssen, C.H. Wu, in: Proceedings of the 18th IAEA Fusion Energy Conf. on Fusion Energy, Sorrento, Italy, October 4–10, 2000, paper FTP1/29

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛАЗМЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ГРАФИТА ПРИ ГРАДИЕНТЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБРАЗЦА

К.М. ГУТОРОВ, И.В. ВИЗГАЛОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО, И.А. СОРОКИН

В установке ПР-2 было проведено облучение образца графита Schunk FP479 водородно-гелиевой плазмой при градиенте температуры образца. Это мелкозернистый прессованный графит сверхвысокой чистоты, графит этой марки должен быть установлен в качестве облицовки КТМ и выбран для облицовки ТИН-0. Образец был введен в плазму пучково-плазменного разряда на охлаждаемом вводе (рис. 1), градиент температуры в этом эксперименте был распределен вдоль образца с перепадом $\sim 1000^\circ\text{C}$, температура горячего конца контролировалась пирометром.

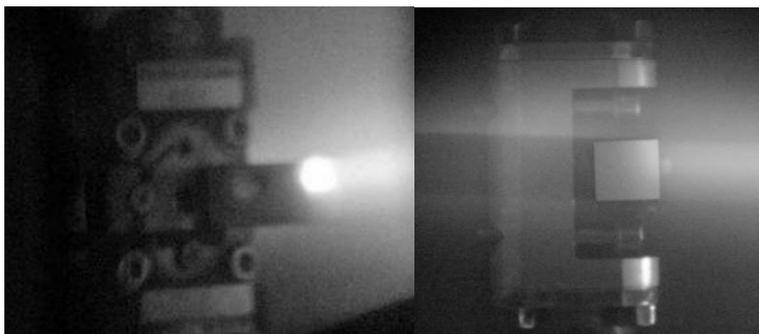


Рис. 1. Облучение графитового образца в установке ПР-2 (облучаемая поверхность с перепадом температуры – слева, торец – справа)

Параметры облучения: смещение образца -110 В , ток 5 мА , время облучения 60 мин . После облучения на поверхности образца можно выделить области с преимущественным распылением и преимущественным осаждением. За базовый вариант рельефа поверхности можно принять не подверженную плазменному облучению область – гладкую поверхность с небольшим количеством пор. Незначительно отличается область малой эрозии, находящаяся на периферии плазменного пучка, – гладкая поверхность, исходный уровень пористости, но присутствуют небольшие конусообразные острия и протравленные углубления (рис. 2а). Такая поверхность соответствует медленному стравливанию графитовых зерен. Совершенно иной рельеф в области распыления (рис. 2б) – это сильнопористая поверхность, испещренная уходящими вглубь образца каналами, что свидетельствует об интенсивной химической эрозии. Поверхность состоит из множества столбиков, образованных нагромождением зерен, мелкая структура зерен представляет собой систему продолговатых чешуек, наслаивающихся друг на друга. Характерные размеры чешуек $0,2 \times 2\text{ мкм}$. Еще одна характерная область – область осаждения (рис. 2в), это также область с высокой пористостью и развитым рельефом. Микрорельеф поверхности напоминает мех, где отдельные нити образуют скопления в виде пучков и волн.

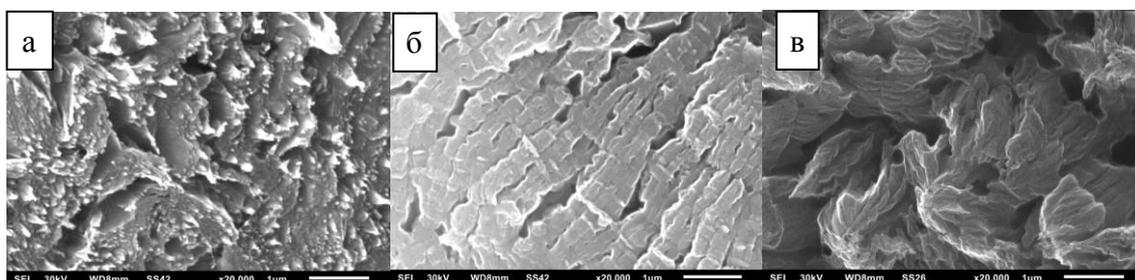


Рис. 2. Области: а – малога распыления, б – интенсивного распыления, в – осаждения

При плазменном облучении поверхность графита претерпела значительные изменения, выявились несколько характерных областей с различной макро- и микроструктурой. Во всех случаях усиливается пористость поверхности, что способствует увеличению захвата газа. А в случае интенсивной эрозии образуются каналы, ведущие вглубь образца.

ТЕРМОДЕСОРБЦИЯ ДЕЙТЕРИЯ ИЗ СПЛАВА V-4Cr-4Ti

В.С. ЕФИМОВ, А.А. СМОЛЯКОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, Е.Д. МАРЕНКОВ,
А.В. СПИЦЫН*, А.В. ГОЛУБЕВА*, Н.П. БОБЫРЬ*

*НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

В работе проведено исследование накопления дейтерия при насыщении в газе на специализированном высоковакуумном стенде AtlaN (НИЦ «Курчатовский институт») в сплаве ванадия $V - 4Cr - 4Ti$, который рассматривается в качестве кандидатного конструкционного материала для будущих термоядерных установок. Преимуществом этого сплава является низкая активация в условиях нейтронного облучения. Эксперименты проводились при 273 – 673 К и давлениях газа в камере 0,01 – 1 Па. Во всех экспериментах наблюдался высокий уровень накопления дейтерия. Концентрация дейтерия в образцах достигала нескольких атомных процентов (образцы с концентрацией дейтерия 7-8 ат.% заметно охрупчиваются), что характерно для всех металлов с отрицательной теплотой растворения.

Десорбция из металлов с отрицательной теплотой растворения обычно лимитирована процессами на поверхности и, согласно модели второго порядка, ТДС спектр должен иметь один симметричный пик. Полученные спектры во многих случаях имеют два основных больших пика в области температур 600-900 К (рис.1). Причем при максимальном времени выдержки для различной толщины доминирует то один пик, то другой.

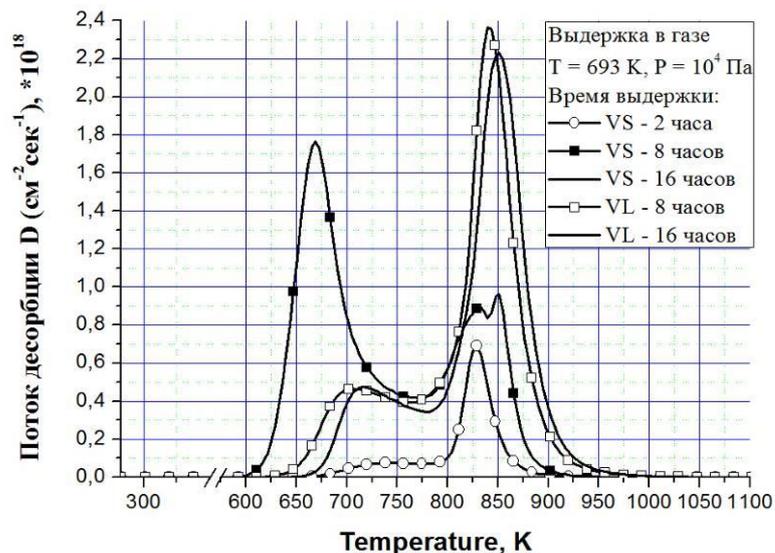


Рис. 1. Термодесорбционные спектры дейтерия для образцов, насыщенных в газе. Параметры облучения указаны на вставке. Толщина образцов VS - 0,2мм, VL - 0,5мм

Моделирование, проведенное в коде DIFTRAP, показало, что один из пиков может быть ассоциирован с поверхностными процессами, а другой – с выходом из дефектов, имеющих в образце. Тогда изменение амплитуд пиков с изменением толщины объясняется изменением равновесного распределения водорода между растворенным и захваченными состояниями после выдержки. Вместе с тем, расчетные пики в данном приближении оказываются шире экспериментальных. Предположительно, более точного согласия с экспериментом можно достигнуть, введя два типа дефектов: равномерно распределенные по образцу и расположенные вблизи поверхности.

КОНВЕРСИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ КОНВЕРТЕРА ДЛЯ ПРИБОРА «АРИЕС-Л» ПРОЕКТА «ЛУНА-РЕСУРС»

Н.В. МАМЕДОВ, В.А. КУРНАЕВ, Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, Д.В. КОЛОДКО,
Д.А. ТРУФАНОВ

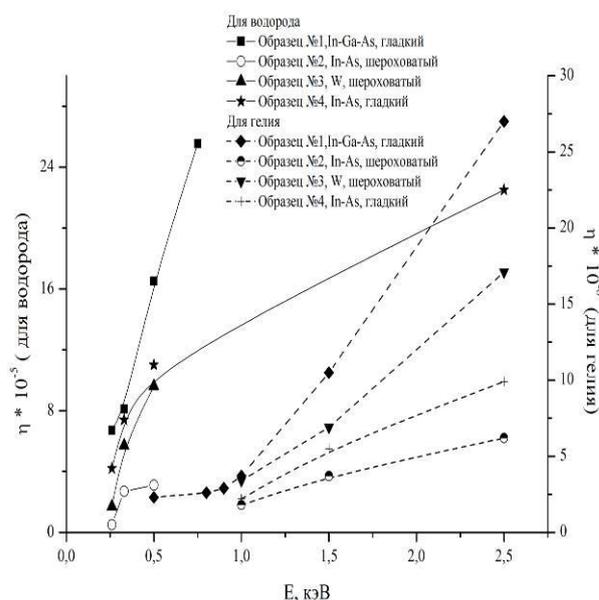


Рис. 1. Зависимость коэффициента преобразования КНЧ от энергии первичного пучка для пучков водорода (сплошная линия) и гелия (пунктирная линия)

В эксперименте по определению коэффициента конверсии образцов пучков нейтральных частиц моделировался пучком положительных ионов. Такое моделирование возможно, поскольку вероятность выхода отраженных частиц в определенном зарядовом состоянии для непрогреваемой мишени зависит от их сорта, энергии, атомного номера мишени и практически не зависит от первоначального зарядового состояния падающих частиц [1].

Для каждой мишени были измерены энергетические спектры отраженных положительных ионов водорода, гелия и аргона с различной энергией первичного пучка. Коэффициенты конверсии (см. рис. 1) определялись по отношению тока ионного пучка, отраженного от конвертера в заданный телесный угол, к току первичного ионного пучка на конвертер. Согласно моделированию, на коэффициент конверсии атомов водорода и гелия в данном диапазоне энергий влияет совокупность трех факторов. С ростом энергии первичного пучка: увеличивается доля положительных ионов в отраженных частицах, уменьшается коэффициент отражения частиц, но увеличивается количество частиц, попадающих в угол регистрации. В компьютерном моделировании различие конверсионной способности между In-Ga-As и W не более 10%, в то время как эксперимент показывает значительно большее различие. Однако моделирование не учитывает шероховатость поверхности, что, как показано в эксперименте, может влиять на конверсионную способность существенней (более чем в 2 раза), чем различие в атомной массе конвертера.

Таким образом, при экспериментальном определении коэффициентов конверсии для водорода и гелия в диапазоне 0,25-2,5 кэВ, наибольшее значение из исследованных мишеней оказалась у мишени из эпитаксиально выращенного слоя In-Ga-As, которая и была рекомендована в качестве КНЧ.

В рамках проекта «Луна-Ресурс» Институтом космических исследований РАН изготавливается прибор «Ариес-Л» для исследования взаимодействия солнечного ветра с поверхностью Луны и определения ее состава. Анализ нейтральных атомов, выбитых и отраженных от поверхности Луны солнечным ветром, предполагается проводить с помощью светосильных электростатических анализаторов при конвертации нейтралов в зарядовые фракции. В данной работе сравниваются коэффициенты конверсии для нескольких мишеней из разных материалов и с разной структурой активной поверхности конвертера (выращенные эпитаксиальным способом мишени из In-Ga-As и In-As, а также механически полированные мишени из W и In-As) с целью выбора материала для макета конвертера нейтральных частиц (КНЧ) прибора Ариес-Л.

В эксперименте по определению коэффициента конверсии образцов пучков нейтральных частиц моделировался пучком положительных ионов.

5. ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

СОЗДАНИЕ ЗАЩИТНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИИ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

М.С. ЗИБРОВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО, А.В. ТУМАРКИН, А.В. КАЗИЕВ,
Т.В. СТЕПАНОВА, А.А. ПИСАРЕВ, М.В. АТАМАНОВ*

* ЗАО «Инакотек», Москва, Россия

Исследована возможность создания защитных металлических покрытий на алюминии для предотвращения его коррозии в водных растворах щелочей. Применялись различные способы осаждения покрытий: напыление в стационарной магнетронной распылительной системе (МРС) с твердой катодной мишенью, осаждение в импульсной МРС, а также напыление в МРС с расплавленной мишенью в отсутствии рабочего газа. Покрытия наносились на подложки из алюминиевой фольги толщиной 30 мкм и на механически полированные пластины из алюминия толщиной 2 мм. Было показано, что глубокая ионная очистка поверхности алюминия является необходимой для получения хорошей адгезии покрытий. Энергия ионов при этом должна быть не менее 2 кэВ. Было выяснено, что асистирирование начального этапа осаждения медных покрытий пучком ионов аргона с энергией 1 кэВ способствует получению плотных покрытий. Наилучшими защитными свойствами обладали покрытия из меди, нанесенные на поверхность алюминиевой фольги в два этапа: в стационарном магнетронном разряде с твердым катодом с сопутствующим ионным асистирированием начального этапа (толщина слоя около 1,3 мкм) и затем в магнетронном разряде с расплавленным катодом (толщина слоя около 3,0 мкм). Полученное покрытие состоит из нескольких слоев: плотного слоя, зернистого слоя и верхнего слоя, состоящего из глобул с размерами около 1 мкм, причем сами глобулы состоят из столбчатых кристаллитов (рис. 1). Полученная структура верхнего слоя может быть объяснена тем, что в магнетронном разряде с расплавленным катодом, горящем в парах материала мишени, поток испаряющихся с катода атомов меди (которые имеют тепловые энергии) на несколько порядков больше, чем потоки распыленных с катода атомов и ионов меди, имеющих надтепловые энергии.

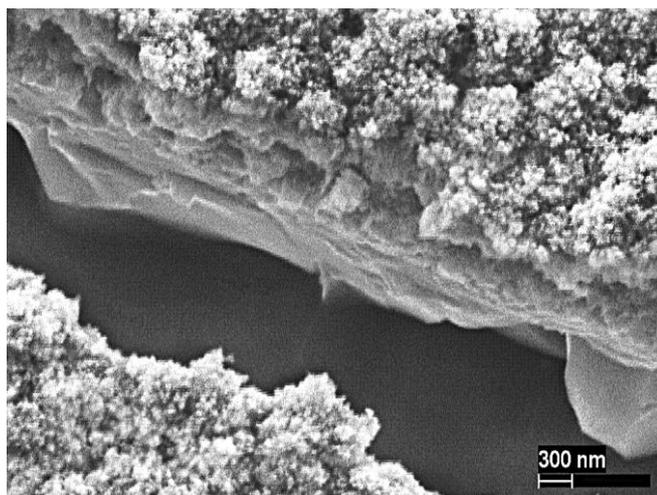


Рис. 1. РЭМ изображение структуры медного покрытия, осажденного на алюминиевую фольгу

Отмечено, что механическая полировка образцов отрицательно сказывалась на защитных свойствах наносимых покрытий. Можно ожидать, что полученные покрытия смогут защитить алюминиевые изделия от коррозии в менее агрессивных средах.

МОДИФИКАЦИЯ ТОКОСЪЕМНИКОВ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ ПУТЕМ ОСАЖДЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР ИЗ ПЛАЗМЫ МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА

Д.Д. БЕРНТ, А.А. ПИСАРЕВ, К.К. ДЕНЬЩИКОВ*

*Институт высоких температур РАН, Москва, Россия

В рамках работы проведены эксперименты по модификации токосъемников для суперконденсаторов плазменными методами путём выращивания на их поверхности сложной углеродной наноструктуры.

В настоящее время в суперконденсаторах наиболее широко в качестве электродного материала используются металлизированные активные углеродные основы. Однако использование в паре с ними металлических (чаще всего алюминиевых) фольг в качестве токосъемников приводит к возникновению паразитного контактного сопротивления на границе электрод/токосъемник. С целью выявления методов снижения контактного сопротивления методом осаждения из плазмы магнетронного разряда подложки из конденсаторной алюминиевой фольги были осаждены слои сложной развитой углеродной наноструктуры.

Известно, что рост ориентированной углеродной сложной структуры при плазменном распылении возможен в присутствии катализатора, в роли которого в экспериментах выступал Ni. Наблюдалось, что рост такой структуры происходил при последовательном осаждении слоев Ni и C.

Также были экспериментально определены основные параметры процесса осаждения, такие как времена распыления Ni и C, при которых на поверхности подложки происходил рост наиболее удовлетворительной в плане снижения контактного сопротивления структуры.

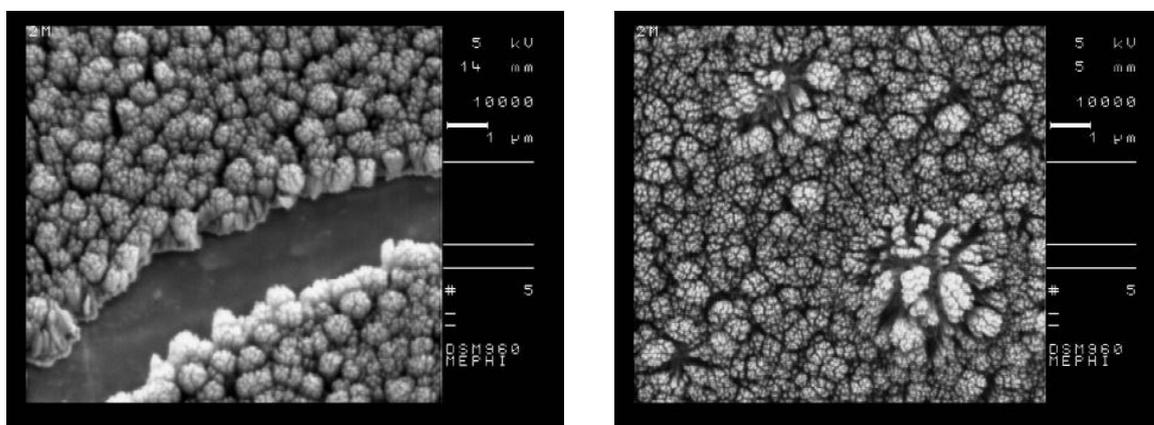


Рис. 1. РЭМ поверхности полученных образцов

Полученное покрытие имеет столбчатую структуру в виде плотно сомкнутых пучков отдельных углеродных волокон (рис.1). Покрытие имеет развитую открытую пористость, в пределах от 40 до 60%. Толщина пористого слоя составляет $0,7 \div 1,5$ мкм, а волокна и блоки волокон имеют гранулированную структуру и вытянуты перпендикулярно поверхности алюминиевой подложки. Модификация поверхности фольги не привела к изменению прочности токосъемника.

Получение сложного рельефа катодной фольги с развитой открытой поверхностью позволяет обеспечить контакт с электролитом по всей поверхности покрытия, что повышает надежность электролитического конденсатора в период его эксплуатации и снижает величину контактного сопротивления на границе электрод/токосъемник до двух раз.

6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПРИБОРЫ

МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИЙ КЛАПАН ДЛЯ ИМПУЛЬСНОГО НАПУСКА ГАЗА В УСТАНОВКАХ С СИЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

И.А. СОРОКИН, Ф.С. ПОДОЛЯКО, А.Н. ЗЕЛЕНСКИЙ*, G. ATOIAN*, J. RITTER*

*Brookhaven National Laboratory, 2 CenterStreet, Upton, NY 11973, USA

В связи с экспериментами по инжекции пучков поляризованных протонов в RHIC (BNL) для импульсных газовых мишеней в вакуумной камере с сильным магнитным полем разработан импульсный магнитодинамический клапан с длительностью газового импульса 0,1 – 0,2 мс и производительностью от 10^{17} до 10^{18} молекул за импульс. Работа клапана основана на действии силы Ампера на проводник с током, помещенным в сверхпроводящий соленоид источника поляризованных протонов.

В источнике поляризованных протонов OPPIS используется серия струйных и импульсных газовых мишеней, в том числе импульсная гелиевая газовая мишень для ионизации первичного пучка нейтральных атомов водорода с системой торможения образовавшихся ионов, находящаяся в собственном сильном магнитном поле (3 Тл) установки.

Так как обычные электромагнитные клапаны нестабильно работают в сильном магнитном поле, а пьезокерамические клапаны, как показал опыт, выводились из строя из-за пробоев, возникающих в гелиевой мишени при увеличении интенсивности первичного пучка нейтральных атомов и попытке торможения образовавшихся ионов водорода, была предложена следующая конструкция магнитодинамического клапана (рис. 1).

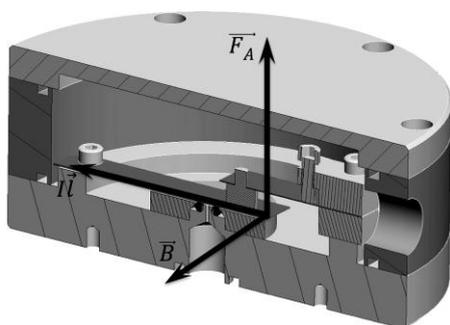


Рис. 1. Магнитодинамический клапан

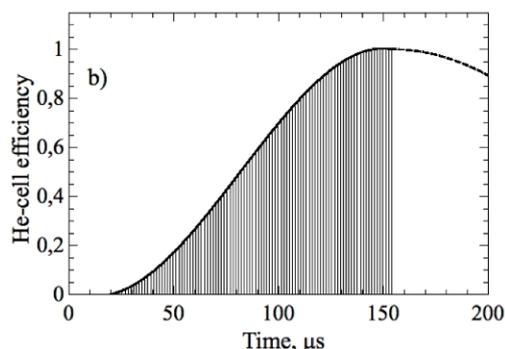


Рис. 2. Эффективность гелиевой мишени

Клапан состоит из корпуса, патрубка для напуска газа, электрического ввода для подачи тока на уплотняющую пластину, уплотняющей пластины (бериллиевая бронза), уплотнения из витона, также предусмотрен изолированный упор для ограничения хода уплотняющей пластины. Внутри корпуса клапана имеется предварительная изолированная камера. В камеру производится напуск рабочего газа из баллона высокого давления. Давление внутри предварительной камеры устанавливается с помощью контроллера давления для точной настройки газового потока.

Проведены измерения быстроты нарастания газового импульса магнитодинамического клапана (рис.2). Измерения проводились с помощью короткого импульса (50 мкс) пучка нейтральных атомов водорода, прошедшего трехступенчатую перезарядку. Быстрота нарастания газового импульса составила 0,1 – 0,2 мс.

Магнитодинамический импульсный клапан имеет простую конструкцию и минимум подвижных деталей в совокупности с возможностью тонкой регулировки порций газа, поступающих в вакуумный объем за счет регулировки давления внутри клапана и положения уплотняющей пластины в диапазоне от 10^{17} до 10^{18} мол./импульс.

УСТАНОВКА МР-2 ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СООСЖДЕНИЯ ДЕЙТЕРИЯ С МАТЕРИАЛАМИ В УСЛОВИЯХ МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА

С.А. КРАТ, Б.А. БЕРНТ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ

Для изучения процессов соосаждения дейтерия с различными материалами в условиях магнетронного разряда была разработана и введена в эксплуатацию новая высоковакуумная установка МР-2 (рис.1). Основной особенностью установки является возможность проведения *in situ* термодесорбционной спектроскопии (ТДС) в отдельной камере без переноса по атмосфере, что дает возможность проводить эксперименты с такими химически активными материалами, как литий.

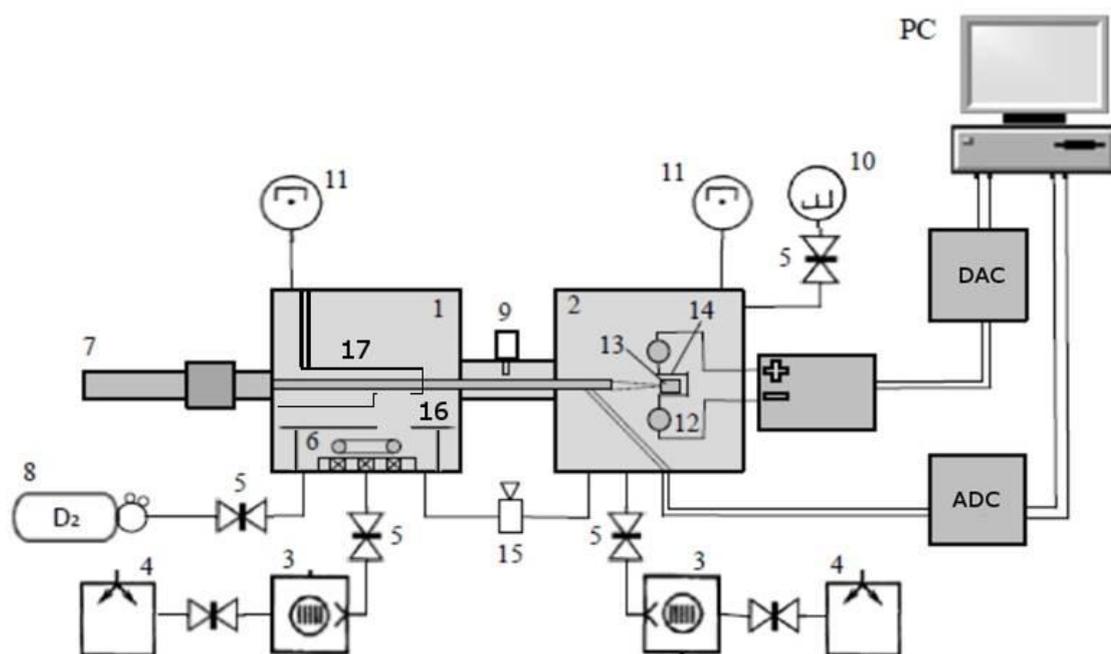


Рис. 1. Принципиальная схема установки МР-2: 1 - камера напыления, 2 - камера ТДС анализа, 3 - турбомолекулярный насос, 4 - мембранный насос, 5 - клапан, 6 - магнетрон, 7 - магнитный вакуумный ввод движения, 8 - баллон с рабочим газом, 9 - клапан, 10 - квадрупольный масс спектрометр, 11 - магниторазрядные лампы, 12 - тоководы с водяным охлаждением, 13 - образец, 14 - вольфрамовый нагреватель, 15 - калиброванная газовая течь, 16 - первый экран, 17 - второй экран

Установка состоит из камеры напыления (1) и камеры ТДС (2) с отдельной откачкой. Остаточное давление в камере напыления $< 10^{-6}$ мбар, в камере ТДС $< 10^{-8}$ мбар. В нижней части камеры напыления установлен катодный узел магнетронного разряда. Образец (подложка) устанавливается на вводе движения напротив катода. Для защиты элементов держателя образца от напыления в ходе разряда используется система экранов (16, 17). Камера ТДС анализа оборудована квадрупольным масс-спектрометром Extorr XT100. Между камерами напыления и ТДС установлена калиброванная течь, позволяющая контролировать состав рабочего газа во время разряда. Для перемещения образца между камерами был разработан держатель образца, позволяющий восстанавливать вакуумную изоляцию между камерами после перемещения образца из одной камеры в другую, подавать напряжение смещения, контролировать температуру образца и подогревать его при помощи вспомогательного нагревателя.

ЗАПУСК СТЕНДА ИМИТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ КТМ

И.В. ВИЗГАЛОВ, В.А. КУРНАЕВ, Т.Р. ТУЛЕНБЕРГЕНОВ*, И.А. СОКОЛОВ*,
А.А. КОЛОДЕШНИКОВ*, В.А. ЗУЕВ*, В.И. ИГНАШЕВ*, И.Н. БОГОМОЛОВА*

**Институт Атомной энергии Национального Ядерного Центра, Казахстан*

Проведен запуск плазменно - пучковой установки с линейным магнитным полем для имитационных испытаний конструкционных материалов ТЯР при токамаке КТМ в Казахстане. Предварительный эскизный проект установки выполнен на кафедре физики плазмы НИЯУ МИФИ, окончательное проектирование, изготовление и сборка - в Институте Атомной Энергии Национального Ядерного Центра РК.

Имитационная установка выведена на режим генерации плазменных потоков. В качестве рабочих газов могут использоваться как инертные, так и химически активные газы. Установка имеет безмасляные средства вакуумной откачки и компьютерное управление основными режимами работами. Электронная пушка мощностью до 30 кВт (30кВ, 1А) обеспечивает как тепловую нагрузку на испытываемые материалы, так и генерацию интенсивных плазменных потоков в режиме пучково-плазменного разряда (ППР). В зависимости от поставленной задачи можно применять разнообразные режимы работы установки. При плавном изменении давления рабочего газа в камере взаимодействия с фиксированными параметрами первичного электронного пучка и магнитного поля установлены три состояния пучково-плазменного взаимодействия.

Первое состояние при малом давлении газа (менее 10^{-4} Тор) соответствует режиму транспортировки квазинейтрального пучка, когда плотность положительного заряда ионов в тракте примерно равна плотности первичного пучка. Электронный пучок переносит на коллектор практически всю мощность, полученную в ускоряющем зазоре электронной пушки. После превышения первого порогового значения давления газа происходит перекompенсация отрицательного объемного заряда первичного пучка, что создает предпосылки для накопления третьего компонента - вторичных низкоэнергетичных электронов. Бесстолкновительное резонансное (коллективное) взаимодействие этих электронов с первичным пучком приводит к их нагреву до энергий, достаточных для ионизации газа, и к лавинообразному нарастанию плотности плазмы с выходом на новое состояние динамического равновесия пучково-плазменной системы. Это второе состояние удобно для получения плазмы в большом объеме и при малых расходах рабочего газа. При увеличении газовой нагрузки пучково-плазменная система проходит второй порог, характеризующийся стягиванием разряда к оси и увеличением плотности ионного тока и плазмы в приосевой области. Третье состояние наиболее удобно для проведения экспериментов с высоким ионным флюенсом на контактные материалы.

Согласно зондовым измерениям плотность ионного тока в приосевой области достигает 100 мА/см^2 , имеется возможность ее дальнейшего увеличения до уровня 500 мА/см^2 . Разработана электромагнитная система развертки электронного пучка. Она позволяет значительно поднять стационарную мощность ППР и проводить без разгерметизации термодесорбционные эксперименты по циклу: ионная нагрузка в режиме ППР - программируемый нагрев в вакуумном режиме с контролем газовой выделением. Проведены предварительные эксперименты с высокодозными ионными нагрузками на материалы из графита, вольфрама, молибдена и тантала, в которых продемонстрированы различные типы радиационных повреждений и возможности плазмохимической очистки стенок от осажденных углеродных пленок.

ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ ИМПУЛЬСНОГО ГЕНЕРАТОРА НЕЙТРОНОВ С ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННЫМ ИСТОЧНИКОМ ДЕЙТРОНОВ

Е.Д. ВОВЧЕНКО, К.И. КОЗЛОВСКИЙ*, Д.Д. ПОНОМАРЕВ*,
Д.Р. ХАСАЯ*, А.С. ЦЫБИН*, А.Е. ШИКАНОВ**

* каф.81 НИЯУ МИФИ, ** каф.14 НИЯУ МИФИ

Рассматриваются и экспериментально исследуются технические модули и элементы импульсного генератора нейтронов с лазерно-плазменным диодом при ускоряющих напряжениях не менее 250 кВ, разрядных токах до 100А и длительностях нано- и субмикросекундного диапазона (рис.1). Используется известная схема генерации нейтронов с ускорением и бомбардировкой дейтронами нейтронообразующей мишени. При этом реализуется режим быстрого извлечения дейтронов из лазерной плазмы, необходимый для сохранения высокой плотности потока при сокращении длительности нейтронного импульса.

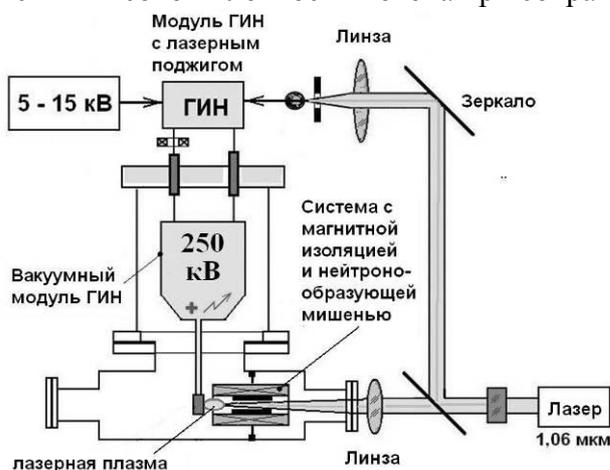


Рис. 1. Схема лазерного генератора нейтронов

модулированной добротности с энергией излучения ~ 100 мДж и частотой следования до 100 Гц. Достигнутое снижение расходимости излучения до 2 мрад и уменьшение длительности лазерного импульса до 7 нс обеспечило получение плотности мощности до 10^{11} Вт/см².

Разработан компактный высоковольтный источник ускоряющего напряжения. Устройство выполнено на основе ГИН Аркадьева-Маркса, размещенного в вакуумной камере нейтронного источника. Уменьшение общих размеров достигается за счет прямого контакта в вакууме между выходом последнего каскада ГИН и дейтерийсодержащей мишенью. В свою очередь, это позволяет отказаться от крупногабаритного вакуумного электрического ввода, рассчитанного на рабочее напряжение ~ 250 кВ. Искровые разрядники-коммутаторы ГИН, изолированные от вакуума, соединяются с атмосферой и смонтированы в модуле из органического стекла, который также установлен в вакуумную камеру. Первый разрядник ГИН запускается частью «греющего» лазерного импульса, что обеспечивает жесткую синхронизацию между лазерной плазмой и импульсом ускоряющего напряжения.

Развитие электронной проводимости, возникающей в результате эмиссионных процессов на нейтронообразующей мишени, снижает напряжение на ускоряющем промежутке. Для подавления нежелательного эффекта применена схема магнитной изоляции, апробированная в макетных исследованиях.

Выбор лазерно-плазменного источника обусловлен рядом и других факторов, выгодно отличающих его от ионного источника на основе вакуумно-искрового разряда. Прежде всего, это характерная направленность разлета сгустка плазмы при фокусировке лазерного излучения на дейтерийсодержащую мишень в вакууме; доступность варьирования интенсивностью падающего излучения; простота и компактность, обусловленная отсутствием электрических цепей возбуждения.

С целью увеличения плотности мощности лазерного излучения проведена оптимизация конструкции и элементов ИАГ: Nd⁺ лазера, работающего в режиме

ПЕРЕЧЕНЬ ТРУДОВ СОТРУДНИКОВ КАФЕДРЫ ЗА 2012 ГОД

Международные журналы:

1. E. Marenkov, S. Krasheninnikov, A. Pisarev, I. Tsvetkov. On the tokamak first wall response to the ELM bursts. *Phys. Plasmas* 19, 092501 (2012).
2. E. Marenkov, V. Kurnaev, A. Lasa, K. Nordlund. On the molecular effect in hydrogen molecular ions penetration through thin films. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, V. 269, Issue 9, p. 876-880 (2012).
3. A. Pisarev. Hydrogen Adsorption on the surface of metals. In book: *Gaseous hydrogen embrittlement of materials in energy technologies*. v.2, p.3-26. 2012. Woodhead Publishing Limited.

Отечественные журналы:

1. Е.Д. Маренков, С.И. Крашенинников, А.А. Писарев, И.В. Цветков. О термической неустойчивости, вызванной взаимодействием плазмы со стенкой. *Физика плазмы*, 2012, том. 38, №4, с. 386-392.
2. К.А. Мошкунов, И.В. Визгалов, В.И. Бурлака, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев. Газовыделение дейтерия из лития после облучения в дейтериевой плазме. *Известия РАН. Серия физическая*, 2012, том 76, № 6, с. 798–802.
3. Н.В. Мамедов Д.В. Иванов, В.А. Курнаев, Д.Н. Синельников. Применение спектроскопии рассеянных ионов для анализа взаимодействия плазмы с поверхностью. *Известия РАН. Серия физическая*. 2012. том 76, № 6, с.781–784.
4. Д.Н. Синельников, Д.В. Иванов, В.А. Курнаев, Н.В. Мамедов. Холодная эмиссия отрицательных ионов с пористого графита. *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. 2012. № 8, с.50–54.
5. Ролдугин В.И, Жданов В.М., Шерышева Е.Е. Влияние поверхностной диффузии газа на асимметрию проницаемости бислойных пористых мембран. *Коллоидный журнал*, 2012, том 74, № 6, с.754.
6. Айрапетов А.А., Беграмбеков Л.Б., Вергазов С.В., Евсин А.Е., Каплевский А.С., Садовский Я.А., Шигин П.А. Закономерности и механизмы захвата водорода в углеграфитовый композит при облучении атомами с тепловыми скоростями. *Известия РАН. Серия физическая*. 2012. т.76, № 6, с.790.
7. А.Б. Вавренюк, И.Г. Григорьева, А.С. Савёлов, Г.Х. Салахутдинов. Экспериментальные результаты исследований рентгеновского и нейтронного излучений плазмофокусного разряда. *Ядерная физика и инжиниринг*, 2012, том 3, № 2, с. 158–163.
8. О.А. Башутин, Е.Д. Вовченко, Э.И. Додулад, А.С. Савёлов, С.А. Саранцев. Исследование вклада материала электродов в плазму сильноточной вакуумной искры. *Физика плазмы*, 2012, том 38, № 3, с. 261–269.
9. Е.О. Баронова, О.А. Башутин, В.В. Вихрев, Е.Д. Вовченко, Э.И. Додулад, С.П. Елисеев, В.И. Крауз, А.Д. Мироненко/Маренков, В.Я. Никулин, И.Ф. Раевский, А.С. Савёлов, С.А. Саранцев, П.В. Силин, А.М. Степаненко, Ю.А. Какутина, Л.А. Душина. Исследование развития кумулятивной струи в плазменном фокусе методами сдвиговой интерферометрии. *Физика плазмы*, 2012, том 38, № 9, с. 815–825.
10. А.П. Кузнецов, К.Л. Губский, Е.Д. Проценко, И.П. Шаповалов, А.С. Савёлов. Измерение давления потоков импульсной плазмы методами квадратурной интерферометрии. *Письма в ЖТФ*, 2012, том 38, вып. 23, с.46.
11. Г.С. Воронов, Г.М. Батанов, М.С. Бережецкий, Ю.И. Бондарь, В.Д. Борзосекоев, И.Ю. Вафин, Д.Г. Васильков, С.Е. Гребенщиков, И.А. Гришина, Л.В. Колик, Е.М. Кончечков, Н.Ф. Ларионова, А.А. Летунов, В.П. Логвиненко, Д.В. Малахов, А.И. Мещеряков, Е.И. Плешков, А.Е. Петров, К.А. Сарксян, С.Н. Сатунин, Н.Н. Скворцова, В.Д. Степахин, Н.К. Харчев, Ю.В. Хольнов, О.И. Федянин, В.А. Цыганков, В.А. Курнаев, И.В. Визгалов, В.А. Урусов, А. Антипенков, Р. Пирс, Л. Ворх. Испытания на стеллараторе L-2M спектроскопического метода обнаружения микротечи воды в реакторе ИТЭР. *Физика плазмы*. т.38, № 9,с.769-778.
12. Г.В. Ходаченко, Д.В. Мозгрин, И.К. Фетисов, Т.В. Степанова. Нераспыляющий импульсный магнетронный разряд. // *Физика плазмы*. 2012, т.38, №1, сс. 78-86.
13. Казиев А.В., Ходаченко Г.В., Щелканов И.А. Поправка: Исследование структуры импульсного сильноточного диффузного разряда. *Ядерная физика и инжиниринг*. 2012. Т. 3. № 3. С. 286.

Зарубежные конференции:

1. S. Krat, J.P. Coad, Yu. Gasparyan, A. Nakola, J. Likonen, M. Mayer, A. Pisarev, A. Widdowson, and JET-EFDA contributors. Erosion and deposition on JET divertor and limiter tiles during the experimental cam-

- paigns 2005-2009, 20th International Conference on Plasma Surface Interaction, 21-25 May 2012, Aachen, Germany, P2-30.
2. Yu. Gasparyan, S. Krat, M. Zibrov, B. Musiyachenko, I. Timofeev, M. Mayer, A. Pisarev. Co-deposition of Li-D Films in Magnetron Deuterium Plasma Discharge, 20th International Conference on Plasma Surface Interaction, 21-25 May 2012, Aachen, Germany, P3-13.
 3. K.A. Moshkunov, I.V. Vizgalov, V.I. Burlaka, Yu.M. Gasparyan, A.A. Pisarev. Deuterium Release from Lithium Irradiated by Deuterium Plasma, 20th International Conference on Plasma Surface Interaction, 21-25 May 2012, Aachen, Germany, P3-45.
 4. M. Mayer, S. Krat, J.P. Coad, A. Hakola, J. Likonen, S. Lindig, A. Widdowson, and JET-EFDA contributors, Erosion at the inner wall of JET during the discharge campaigns 2001-2009, 20th International Conference on Plasma Surface Interaction, 21-25 May 2012, Aachen, Germany, P2-41.
 5. O.V. Ogorodnikova, C. Ruset, K. Sugiyama, Yu. Gasparyan, V. Efimov, M. Balden, G. Matern, F. Koch. Plasma-induced deuterium retention in tungsten coatings on different substrates produced by combined magnetron-sputtering and ion implantation technique, 20th International Conference on Plasma Surface Interaction, 21-25 May 2012, Aachen, Germany, P3-35.
 6. D.I. Cherkez, A.V. Spitsyn, A.V. Golubeva, M. Mayer, Yu.M. Gasparyan, V.S. Efimov, V.M. Chernov. Hydrogen interaction with the low activation ferritic-martensitic steel EK-181 (Rusfer), 20th International Conference on Plasma Surface Interaction, 21-25 May 2012, Aachen, Germany, P3-10.
 7. E. Marenkov, S. Krasheninnikov, A. Pisarev, I. Tsvetkov. On the tokamak first wall response to the ELM bursts. 20th International Conference on Plasma Surface Interaction, 21-25 May 2012, Aachen, Germany. P1-63.
 8. D. Kogut, N. Trifonov, V. Kurnaev. Simulation of the First Mirror Surface Composition under ITER Relevant Particle Irradiation. 20th International Conference on Plasma Surface Interaction, 21-25 May 2012, Aachen, Germany. P2-27.
 9. V. Kurnaev, K. Gutorov, N. Mamedov, A. Popov, D. Sinelnikov, I. Vizgalov. Emission properties of PFCs under plasma and its components impact. 20th International Conference on Plasma Surface Interaction, 21-25 May 2012, Aachen, Germany. P2-69.
 10. L. Begrambekov, V. Barsuk, M. Dubrov, A. Kaplevsky, N. Klimov, D. Kovalenko, A. Kuzmin, A. Mischenko, V. Podkovyrov, P. Shigin, A. Zhitlukhin, A. Zakharov. 20th International Conference on Plasma Surface Interaction, 21-25 May 2012, Aachen, Germany.
 11. Yu. Gasparyan, V. Efimov, A. Mednikov, A. Pisarev. Fine Structure of TDS Spectra of Deuterium from Tungsten, 11th International Workshop on Hydrogen Isotopes in Fusion Reactor Materials. Schloss Ringberg, Germany, 2012, p.13
 12. O.V. Ogorodnikova, S. Markelj, K. Sugiyama, I. Cadez, Yu. Gasparyan, V. Efimov. Atomic and Low energy deuterium interaction with self-damaged tungsten, 11th International Workshop on Hydrogen Isotopes in Fusion Reactor Materials. Schloss Ringberg, Germany, 2012, p.22.
 13. A.A. Pisarev, Adsorption of Hydrogen of Metal Surface, 11th International Workshop on Hydrogen Isotopes in Fusion Reactor Materials. Schloss Ringberg, Germany, 2012, p.11.
 14. A.V. Golubeva, A.V. Spitsyn, M. Mayer, Yu.M. Gasparyan, N.P. Bobyr, V.M. Chernov, O.V. Ogorodnikova. Deuterium retention in low activation Ferritic-Martensitic Steels. 11th International Workshop on Hydrogen Isotopes in Fusion Reactor Materials. Schloss Ringberg, Germany, 2012, p.27.
 15. N.P. Bobyr, A.V. Spitsyn, A.V. Golubeva, M. Mayer, Yu.M. Gasparyan, V.S. Efimov, V.M. Chernov. Deuterium retention in V-4Cr-4Ti Alloy. 11th International Workshop on Hydrogen Isotopes in Fusion Reactor Materials. Schloss Ringberg, Germany, 2012, p.25.
 16. L. Begrambekov, A. Kaplevsky, Ya. Sadovsky, P. Shigin and S. Vergasov. "The Particle Trapping in Stainless Steel in Oxygen Contaminated Hydrogen Plasma" 11th International Workshop on Hydrogen Isotopes in Fusion Reactor Materials. Schloss Ringberg, Germany. May 29 - 31, 2012.
 17. E. Marenkov, V. Kurnaev, A. Lasa, K. Nordlund. Molecular Dynamic Simulation of KeV Hydrogen Molecular Ions Interaction With Solids. Book of reports of 11th International Workshop on Hydrogen Isotopes in Fusion Reactor Materials. Schloss Ringberg, Germany, 2012
 18. L. Begrambekov, A. Ayrapetov, V. Ermakov, A. Kaplevsky, Ya. Sadovsky, P. Shigin. Hydrogen and Oxygen Trapping and Retention in Metals and Graphite Materials Irradiated in Plasma. 25th International Conference on Atomic Collisions in Solids (ICACS25), Kyoto, Japan, during October 21-25, 2012.

19. N.N. Andrianova, L.B. Begrambekov, A.M. Borisov, E.S. Mashkova, Yu., S. Vergiliev. High fluence Ion Erosion of Carbon Composite Fibers. 25th International Conference on Atomic Collisions in Solids (ICACS25), Kyoto, Japan, during October 21-25, 2012.
20. L. Begrambekov, A. Kaplevsky, Ya. Sadovsky, P. Shigin, Particle trapping in stainless steel irradiated in oxygen contaminated deuterium plasma. 27th Symposium on Fusion Technology". 24-28 September 2012. Lieg, Belgium.
21. L. Begrambekov, A. Kaplevsky, A. Zakharov, Ya. Sadovsky, P. Shigin. Hydrogen depletion from CH films under deuterium plasma irradiation. 27th Symposium on Fusion Technology". 24-28 September 2012. Lieg, Belgium.
22. O. Afonin, A. Antipenkov, N. Koborov, V. Kurnaev, T. Mukhammedzianov, V. Ochkin, R. Pearce, E. Pleshkov, F. Podolyako, I. Sorokin, V. Urusov, I. Vizgalov, G. Voronov, K. Vukolov, L. Worth, and L-2M team. Spectroscopic localization of water leaks in ITER. 27th Symposium on Fusion Technology". 24-28 September 2012, Lieg, Belgium
23. K.M. Gutorov, I.V. Vizgalov, V.A. Kurnaev, I.A. Sorokin, F.S. Podolyako. High voltage pulses generation in the plasma-beam discharge. 39th EPS Conference & 16th Int. Congress on Plasma Physics. Stockholm, Sweden, 2-6 July 2012.
24. D.N. Sinelnikov, V.A. Kurnaev, N.V. Mamedov, A.P. Popov. Cold emission of negative ions from the graphite with the rough surface. XXV International Symposium on discharges and electrical insulation in vacuum, 2-7 September 2012, Tomsk, Russia.
25. Begrambekov L.B., Ayrapetov A.A., Ermakov V.N., Kaplevsky A.S., Sadovskiy Ya. A., Shigin P.A. Hydrogen and oxygen trapping in the metals with and without oxide layer on the surface" Международная научная конференция "Плазменные технологии исследования, модификации и получения материалов различной физической природы" 16-18 октября 2012, Казань.
26. F. Podolyako, I. Sorokin, I. Vizgalov, A. Zelenski, G. Atoian, J. Ritter, J. Alessi, D. Raparia, V. Klenov. Studies of basic limitations on production, transport and acceleration of the high intensity polarized H- ion beams in the RHIC polarized ion source. 20th International Symposium on Spin Physics (SPIN 2012), JINR, Dubna, Russia, 2012.
27. V.M. Zhdanov, V.I. Roldughin, Moment method and non-equilibrium thermodynamics of rarefied gas mixture, Proceedings of 28th International Symposium of rarefied gas dynamics, p.74, AIP, New York, 2012.
28. V.I. Roldughin, V.M. Zhdanov, On the non-equilibrium thermodynamics of rarefied gases: Relation of the Chapman-Enskog and moment methods. Proceedings of 28th International Symposium of rarefied gas dynamics, p.82, AIP, New York, 2012.
29. A.A. Stepanenko, S.I. Krashennnikov, On the dynamics of rotationally symmetric dust grain in magnetized plasma, Scientific-Coordination Session on Non-Ideal Plasma Physics, Moscow, 2012.

Отечественные конференции:

1. Гуторов К.М., Визгалов И.В., Подолько Ф.С., Сорокин И.А. Генерация высоковольтных импульсов из режима стабилизации напряжения коллектора. XXXIX Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 6 – 10 февраля 2012 г.
2. Begrambekov L.B., Ayrapetov A.A., Ermakov V.N., Kaplevsky A.S., Sadovskiy Ya. A., Shigin P.A. Hydrogen and oxygen trapping in the metals with and without oxide layer on the surface. 11-я Всероссийская с международным участием научно-техническая конференция «Быстрозакаленные материалы и покрытия» 27-28 ноября 2012 г. Москва
3. Алхимова М.А., Мамедов Н.В. Плазменный источник на основе пеннинговского разряда. Моделирование в среде COMSOL Multiphysics / Сб. докл. Шестой всероссийской школы для студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов по лазерной физике и лазерным технологиям, 24-27 апреля 2012, РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров.
4. Башутин О.А., Вовченко Е.Д., Додулад Э.И., Раевский И.Ф., Савелов А.С., Саранцев С.А. Развитие лазерных методов визуализации быстропотекающих плазменных процессов на микропинчевой установке пион / Сб. докл. Шестой всероссийской школы для студентов, аспирантов, молодых ученых

- и специалистов по лазерной физике и лазерным технологиям, 24-27 апреля 2012, РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров.
5. Вовченко Е.Д., Козловский К.И., Цыбин А.С., Шиканов А.Е., Шатохин В.Л., Кузнецов А.Ю. Генерация нейтронов в малогабаритном плазменном диоде с осциллирующими дейтронами / Сб. тезисов международной научно-технической конференции «Портативные генераторы нейтронов и технологии на их основе», 22-26 октября 2012, ВНИИА им. Н.Л.Духова, Москва, С. 19
 6. Башутин О.А., Кирко Д.Л., Савелов А.С., Иванов А.А. Характеристики плазмы вакуумной искры при взаимодействии с поверхностью металлов / Сб. тезисов международной научной конференции «Плазменные технологии исследования, модификации и получения материалов различной физической природы», 16-18 октября 2012, Казань, С. 35
 7. Кирко Д.Л., Савелов А.С., Иванов А.А., Визгалов И.В. Свойства плазмы разряда в электролите при исследовании воздействия на поверхность неорганических материалов / Сб. тезисов международной научной конференции «Плазменные технологии исследования, модификации и получения материалов различной физической природы», 16-18 октября 2012, Казань, С. 36
 8. Кирко Д.Л., Вовченко Е.Д., Савелов А.С. Параметры плазмы коронного разряда вблизи поверхности неорганических материалов / Сб. тезисов международной научной конференции «Плазменные технологии исследования, модификации и получения материалов различной физической природы», 16-18 октября 2012, Казань, С. 37
 9. Баловнев А.В., Григорьева И.Г., Литвин А.Д., Додулад Э.И., Савелов А.С., Салахутдинов Г.Х. Исследование параметров рентгеновского излучения горячей плазмы при помощи термолуминесцентных детекторов / Сб. докл. VIII Российской конференции «Современные средства диагностики плазмы и их применение», 23-25 октября, 2012 г., НИЯУ МИФИ, Москва, С.44.
 10. Григорьева И.Г., Савелов А.С., Салахутдинов Г.Х. Исследование рентгеновского и корпускулярного излучения плазмы сильноточных электрических разрядов / Сб. докл. VIII Российской конференции «Современные средства диагностики плазмы и их применение», 23-25 октября, 2012 г., НИЯУ МИФИ, Москва, С.64
 11. Кирко Д.Л., Савелов А.С., Додулад Э.И. Временные характеристики излучения спектральных линий вакуумной искры / Сб. докл. VIII Российской конференции «Современные средства диагностики плазмы и их применение», 23-25 октября, 2012 г., НИЯУ МИФИ, Москва, С.80
 12. Башутин О.А., Вовченко Е.Д., Додулад Э.И., Москаленко И.Н., Раевский И.Ф., Савелов А.С., Саранцев С.А. Исследование вклада материала электродов в плазму сильноточной вакуумной искры в зависимости от конфигурации электродной системы / Сб. докл. VIII Российской конференции «Современные средства диагностики плазмы и их применение», 23-25 октября, 2012 г., НИЯУ МИФИ, Москва, С.141
 13. Додулад Э.И., Саранцев С.А., Филиппов Е.Д., Раевский И.Ф. Использование лазерного осветителя на молекулярном азоте для визуализации процессов в межэлектродном промежутке низкоиндуктивной вакуумной искры / Сб. докл. VIII Российской конференции «Современные средства диагностики плазмы и их применение», 23-25 октября, 2012 г., НИЯУ МИФИ, Москва, С.145
 14. Алхимова М. А., Вовченко Е. Д., Саранцев А.С. Исследование сильноточного вакуумного разряда по ослаблению рентгеновского излучения / Сб. докл. VIII Российской конференции «Современные средства диагностики плазмы и их применение», 23-25 октября, 2012 г., НИЯУ МИФИ, Москва, С.152
 15. Урусов В.А. Неустраняемые инструментальными методами искажения спектра, измеряемого электростатическими методами. Сб. докл. VIII Российской конференции «Современные средства диагностики плазмы и их применение», 23-25 октября, 2012 г., НИЯУ МИФИ, Москва, С.121
 16. Лепихов С.А., Крашевская Г.В. Автоматизированная система зондовой диагностики. / Сб. докл. VIII Российской конференции «Современные средства диагностики плазмы и их применение», 23-25 октября, 2012 г., НИЯУ МИФИ, Москва, С.87.
 17. Белотелов Д.И., М.М. Цвентух, В.А. Курнаев, В.А. Федоров, и др. Обоснование применимости ионизационных камер деления в сильных магнитных полях термоядерных установок при воздействии интенсивных потоков нейтронного и гамма излучения. / Сб. докл. VIII Российской конференции «Современные средства диагностики плазмы и их применение», 23-25 октября, 2012 г., НИЯУ МИФИ, Москва, С.48.

18. А.В. Казиев, Г.В. Ходаченко. Применение высокоскоростной фотографии для диагностики импульсных магнетронных разрядов. / Сб. докл. VIII Российской конференции «Современные средства диагностики плазмы и их применение», 23-25 октября, 2012 г., НИЯУ МИФИ, Москва, С.36.
19. Казиев А. В., Ходаченко Г. В. Диагностика динамики импульсных газовых разрядов в магнетронных устройствах оптическим методом // Труды 55-й научной конференции МФТИ: Всероссийской научной конференции «Проблемы фундаментальных и прикладных естественных и технических наук в современном информационном обществе», Научной конференции «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук в области физики и астрономии», Всероссийской молодежной научной конференции «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук», 19–25 ноября 2012 г., Москва–Долгопрудный–Жуковский, том «Молекулярная и биологическая физика», с. 148–149
20. А.В. Казиев, П.А. Хромов, И.А. Щелканов, А.В. Тумаркин, Т.В. Степанова, Г.В. Ходаченко, Сильноточный импульсный магнетронный разряд с изменяемой конфигурацией магнитного поля // Материалы XIX Научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника», 16–23 сентября 2012 г., Крым, Судак, с. 93–96
21. А.В. Тумаркин, Г.В. Ходаченко, И.А. Щелканов, Т.В. Степанова, А.В. Казиев, П.А. Хромов, Исследование плазмы магнетронного разряда с расплавленным медным катодом // Материалы XIX Научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника», 16–23 сентября 2012 г., Крым, Судак, с. 130–134
22. М.С. Зибров, А.А. Писарев, Г.В. Ходаченко, Т.В. Степанова, А.В. Казиев, М.В. Атаманов, Ф. Кох, М. Майер, Магнетронное нанесение металлических покрытий для защиты алюминия от коррозии в щелочных электролитах // Материалы XIX Научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника», 16–23 сентября 2012 г., Крым, Судак, с. 135–137.
23. М.С. Зибров, А.А. Писарев, Д.Д. Бернт, Ф. Кох, М. Майер, Д.Н. Рузик. Исследование тонких углеродных покрытий для использования в качестве коррозионных барьеров на алюминиевых токосъемниках суперконденсаторов. Материалы XIX Научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника», 16–23 сентября 2012 г., Крым, Судак, с.126.
24. Визгалов И.В., Подоляко Ф.С., Сорокин И.А. (МИФИ), Кленов В.С. (ИЯИ), A.Zelenski, G.Atoian, J.Ritter, J.Alessi, D.Raparia, BNL. Исследование механизмов ограничения выходного тока модернизированного источника поляризованных протонов OPPIS коллайдера RHIC. Международная сессия-конференция Секции ядерной физики ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий" Москва, МИФИ, 2012.
25. В.М. Жданов, А.А. Степаненко, Влияние резонансной перезарядки на вязкость частично ионизированной плазмы в магнитном поле // Материалы конференции-конкурса “Знания молодых физиков Родине”-2012, 10 декабря 2012 г., Москва, с. 27.

Доклады, представленные на зимней научной сессии НИЯУ МИФИ 2012 года в рамках секции «Физика плазмы и УТС» и конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью»:

1. В.С. Ефимов, А.А. Медников, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев, О.В. Огородникова. Влияние примесей азота в дейтериевой плазме на накопление дейтерия в вольфраме, Материалы XV конференции “Взаимодействие плазмы с поверхностью”, 2-3 февраля 2012 г., с. 24-27
2. Ю.М. Гаспарян, С.А. Крат, М.С. Зибров, И. Тимофеев, М. Майер, А.А. Писарев. Соосаждение плёнок Li-D в магнетронном дейтериевом плазменном разряде, Материалы XV конференции “Взаимодействие плазмы с поверхностью”, 2-3 февраля 2012 г., с. 28-30
3. М.С. Зибров, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев, Ф. Кох, Т. Дюрбек, М. Майер. Свойства защитных покрытий, нанесённых на алюминий плазменными методами, Материалы XV конференции “Взаимодействие плазмы с поверхностью”, 2-3 февраля 2012 г., с. 31-34
4. С.А. Крат, Ю.М. Гаспарян, М. Майер. Изучение эрозии и осаждения на внутренней стенке и в диверторе JET, Материалы XV конференции “Взаимодействие плазмы с поверхностью”, 2-3 февраля 2012 г., с. 39-41
5. Е.Д. Маренков, В.А. Курнаев, К. Нордлунд. Моделирование прохождения молекулярных ионов водорода через тонкие слои углерода. Материалы 15 конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». 2012. с. 68 – 71.

6. В.М. Жданов, А.А. Степаненко. Уравнения переноса для многокомпонентной частично ионизованной пристеночной плазмы токамака. Материалы 15 конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». 2012. с. 58 – 61.
7. В.Е. Николаева, Д.К. Когут, В.А. Курнаев, В.П. Будаев, С.А. Грашин, R. Dejarnac. Наблюдения аномально высокого уровня турбулентности пристеночной плазмы токамака. Материалы 15 конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». 2012. с. 62 – 65.
8. А.А. Макаров, В.А. Курнаев. Моделирование осаждения из плазмы C-W слоёв методом молекулярной динамики. Материалы 15 конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». 2012. с. 66 – 67.
9. М.А. Алхимова, И.В. Визгалов, Д.В. Колодко, В.А. Курнаев, Н.В. Мамедов, Д.Н. Синельников. Встраиваемый малогабаритный источник плазмы. Материалы 15 конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». 2012. с. 76 – 79.
10. Л.Б. Беграмбеков, А.А. Гордеев, А.В. Грунин, А.Е. Евсин, П.А. Шигин. Установка для осаждения защитных покрытий и их анализа методом термодесорбции. Материалы 15 конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». 2012. с. 84.
11. Л.Б. Беграмбеков, А.С. Каплевский, Б.А. Ключ, А.А. Кузьмин, А.М. Мищенко. Плазменное осаждение углеродных и вольфрам-углеродных пленок на нержавеющей сталь и вольфрам. Материалы 15 конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». 2012. с. 84.
12. Л.Б. Беграмбеков, В.А. Барсук, М.Л. Дубров, А.М. Житлухин, А.С. Каплевский, Н.С. Климов, Б.А. Ключ, Д.В. Коваленко, А.А. Кузьмин, А.М. Мищенко, В.Л. Подковыров, П.А. Шигин. Зависимость захвата водорода в углеродные пленки от скорости напыления. Материалы 15 конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». 2012. с. 86.
13. Л.Б. Беграмбеков, А.В. Власюк, В.Н. Ермаков, А.С. Каплевский. Исследование процессов насыщения и удаления рабочих газов из электродов и мишеней нейтронных трубок. Материалы 15 конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». 2012. с. 85.
14. Д.В. Иванов, В.А. Курнаев, Н.В. Мамедов, Д.Н. Синельников. Холодная эмиссия отрицательных ионов с пористого графита. Материалы 15 конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». 2012. с. 86.
15. А.В. Спицын, А.В. Голубева, Н.П. Бобырь, Д.И. Черкез, Ю.М. Гаспарян, В.С. Ефимов, М. Майер, В.М. Чернов. Взаимодействие изотопов водорода с низкоактивируемыми сталями и сплавом ванадия. Материалы 15 конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». 2012. с. 87.
16. Ходаченко Г.В., Щелканов И.А., Хромов П.А. Изучение возможности получения импульсного потока металлических ионов на основе сильноточного импульсного магнетронного разряда с регулируемой степенью разбалансировки. Аннотации докладов научной сессии НИЯУ МИФИ-2012, т.1, с.78.
17. И.В. Визгалов, К.М. Гуторов, Ф.С. Подоляко, И.А. Сорокин. Калибровка термохимического источника паров воды для диагностики микротечей в камерах термоядерных установок. Аннотации докладов научной сессии НИЯУ МИФИ-2012, т.1, с.79.
18. Е.Д. Вовченко, К.И. Козловский, А.Ю. Кузнецов, Д.Д. Пономарев, Д.Р. Хасая, А.С. Цыбин, В.Л. Шатохин, А.Е. Шиканов. Экспериментальное исследование генерации импульсных нейтронных потоков в коаксиальном диоде с осциллирующими дейтронами. Аннотации докладов научной сессии НИЯУ МИФИ-2012, т.1, с.79.
19. В.А. Урусов. Влияние сглаживающего фильтра на восстановление энергетического спектра. Аннотации докладов научной сессии НИЯУ МИФИ-2012, т.1, с.80.
20. Г.В. Крашевская, М.М. Цвентух. Эффект пикирования конвективно-устойчивого профиля давления и модернизация установки магнетор для его экспериментального исследования. Аннотации докладов научной сессии НИЯУ МИФИ-2012, т.1, с.80.
21. М.А. Алхимова, Д.В. Колодко, Н.В. Мамедов. Моделирование в среде COMSOL распределения электрического и магнитного поля в плазменном источнике низкого давления. Аннотации докладов научной сессии НИЯУ МИФИ-2012, т.1, с.81.
22. В.А. Урусов. Восстановление масс-спектров для магнитного спектрометра с разверткой ускоряющим напряжением. Аннотации докладов научной сессии НИЯУ МИФИ-2012, т.1, с.81.
23. О.А. Башутин, Е.Д. Вовченко, Э.И. Додулад, И.Ф. Раевский, А.С. Савёлов, С.А. Саранцев. Рентгеновская спектроскопия как метод исследования состава плазмы сильноточной вакуумной искры. Аннотации докладов научной сессии НИЯУ МИФИ-2012, т.1, с.82.
24. В.П. Пастухов, В.А. Небогатов. Адиабатически-редуцированные МГД уравнения для цилиндрической плазмы с анизотропным давлением. Аннотации докладов научной сессии НИЯУ МИФИ-2012, т.1, с.82.
25. Е.О. Баронова, О.А. Башутин, Е.А. Вовченко, Э.И. Додулад, В.Я. Никулин, И.Ф. Раевский, А.С. Савёлов, С.А. Саранцев, П.В. Силин, А.М. Степаненко, Ю. А. Какутина, Л.А. Душина. Развитие

- методов лазерной интерферометрии существенно неоднородной импульсной плазмы. Аннотации докладов научной сессии НИЯУ МИФИ-2012, т.1, с.83.
26. Э.И. Додулад, И.Ф. Раевский, А.С. Савёлов, С.А. Саранцев. Взаимосвязь процессов, протекающих в межэлектродном промежутке микропинчевого разряда и процессов на поверхности электродов. Аннотации докладов научной сессии НИЯУ МИФИ-2012, т.1, с.84.
 27. Г.В. Ходаченко, А.В. Тумаркин, И.А. Щелканов. Импульсное магнетронное распыление жидкого металлического катода в режиме самораспыления. Аннотации докладов научной сессии НИЯУ МИФИ-2012, т.1, с.84.
 28. Д.Л. Кирко, А.С. Савелов, Э.И. Додулад, С.А. Саранцев. Спектроскопическое исследование плазмы микропинчевого разряда. Аннотации докладов научной сессии НИЯУ МИФИ-2012, т.1, с.85.

Доклады, представленные на X Курчатовской молодежной школе 22 – 25 ноября 2012 г.:

1. А.А. Медников, В.С. Ефимов, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев, О.В. Огородникова. Захват и накопление дейтерия в вольфраме с радиационными дефектами. Сборник аннотаций докладов, с. 173.
2. Е.Д. Маренков, Р.Д. Смирнов, С.И. Крашенинников, А.А. Писарев. О реакции первой стенки токамаков на ЭЛМ. Сборник аннотаций докладов, с. 151.
3. Л.Б. Беграмбеков, С.В. Вергазов, В.Н. Ермаков, А.С. Каплевский, Я.А. Садовский, П.А. Шигин. Захват водорода в нержавеющей сталь при облучении в дейтериевой плазме с примесью кислорода. Сборник аннотаций докладов, с. 160.
4. А.В. Казиев, Г.В. Ходаченко. Оптическая диагностика процессов формирования квазистационарного импульсного разряда в скрещенных $E \times H$ полях. Сборник аннотаций докладов, с. 165.

Доклады, представленные на XIV Школе молодых ученых «Актуальные проблемы физики» (Школа ФИАН), 11-15 ноября 2012 г.:

1. Казиев А.В., Ходаченко Г.В. Оптическая диагностика импульсных форм магнетронного разряда. Сборник трудов. М.: ФИАН, 2012. С. 97–98.
2. Лепихов С.А., Минеев А.Б. Модификация нульмерного кода SCENPLINT для сценария омического разряда токамака Глобус-М. Сборник трудов. М.: ФИАН, 2012. С. 133–134.
3. Маренков Е.Д., Смирнов Р.Д., Крашенинников С.И., Писарев А.А. О реакции первой стенки токамаков на ЭЛМ. Сборник трудов. М.: ФИАН, 2012. С. 145–146.

Выставки:

1. Садовский. 23-я международная выставка изобретений, инноваций и технологий (ITEX 2012) Малайзия.
2. Мамедов Н.В., Синельников Д.Н., Колодко Д.В. Курнаев В.А. Встраиваемый малогабаритный источник плазмы для *in situ* её взаимодействия с поверхностью. XIV Выставка научно-технических работ «Наука и инновации НИЯУ МИФИ». 2012 г.
3. И.В. Визгалов, К.М. Гуторов, Ф.С. Подолько, И.А. Сорокин. Термохимический источник паров воды. XIV Выставка научно-технических работ «Наука и инновации НИЯУ МИФИ». 2012 г.

Награды, премии, гранты

1. Гаспарян Ю.М., Грант Президента РФ на 2011-2012 гг.
2. Зибров М.С. – диплом II степени, Всероссийский молодежный конкурс научно-исследовательских работ по фундаментальной и прикладной физике
3. Крат С.А. – диплом II степени, Всероссийский молодежный конкурс научно-исследовательских работ по фундаментальной и прикладной физике
4. Николаева В.Е. – диплом II степени, Всероссийский молодежный конкурс научно-исследовательских работ по фундаментальной и прикладной физике
5. Тумаркин А.В. – диплом I степени, Всероссийский молодежный конкурс научно-исследовательских работ по фундаментальной и прикладной физике
6. Садовский Я.А. – специальная награда от независимого жюри за разработку установки по опреснению воды, основанную на принципиально новой технологии, 23-я международная выставка изобретений, инноваций и технологий (ITEX 2012)
7. Даньшин Вадим – диплом финалиста программы Do Network за разработку дугового противопожарного устройства

8. Медников А.А. – диплом, 10-я Курчатовская молодежная научная школа
9. Алхимова М.А. – стипендия КГ по атомной энергии «Росатом»
10. Крат С.А. – приз за лучший доклад среди молодых на конференции PSI-2012

Объекты интеллектуальной собственности:

1. Н.В. Мамедов, Д.Н. Синельников, В.А. Курнаев. Способ определения элементного состава и толщины поверхностной пленки твердого тела при внешнем воздействии на поверхность (Заявка на патент №2012132557 от 30.07.2012)
2. С.А. Крат, Ю.М. Гаспарян. Программа для ЭВМ «PIM:SET: «Particles in magnetron: sputtering, evaporation, transportation» (Заявка №2012660068 от 16.11.2012, Свидетельство № 2013610780 от 09.01.2013)

Монографии

1. В.М. Жданов, В.С. Галкин, О.А. Гордеев, И.А. Соколова. Физико-химические процессы в газовой динамике. Справочник. Т.3. Модели процессов молекулярного переноса в физико-химической газодинамике / Под редакцией С.А. Лосева. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2012 – 284 с.

Учебные пособия

1. Л.Б. Беграмбеков, В.И. Бурлака, Ю.М. Гаспарян, И.В. Визгалов, А.М. Захаров, В.А. Курнаев, В.В. Песков, А.А. Писарев, А.А. Русинов, П.А. Шигин. Обращенные к плазме элементы ТЯР. НИЯУ МИФИ. 2012. 120 с.
2. М.И. Гуревич, Д.А. Шкаровский. Расчет переноса нейтронов методом Монте-Карло по программе MSU. НИЯУ МИФИ. 2012. 100 с.

Защищенные диссертации:

1. Садовский Я.А. Процессы газообмена водородной плазмы с примесью кислорода с поверхностью нержавеющей стали, к.ф.-м.н., специальность 01.04.08, 27 января 2012.
2. Урусов В.А. Восстановление энергетических спектров при анализе потоков заряженных частиц, к.ф.-м.н., специальность 01.04.08, 27 января 2012.
3. Кузьмин А.А. Насыщение графитов и углеродных слоев в водородной плазме с примесью кислорода, к.ф.-м.н., специальность 01.04.08, 27 января 2012.

Диссертации, защищенные выпускниками кафедры вне НИЯУ МИФИ

4. Матвеев Д.И. – PhD Dmitry Matveev “Computer simulations of Material Deposition and Fuel Retention in Remote Areas and Castellated Structures of Fusion Machines” - University of Gent (Belgium);
5. Русинов А.А. – PhD Alexander Rusinov “Deuterium retention and trapping mechanisms of tungsten materials exposed to low energy high flux plasma” – (Japan);
6. Калинникова Е.А. – PhD Yevgenia Kalinnikova “Numerical Analyses of Electron Bernstein Wave Dynamics for QUEST” – (Japan);
7. Песков В. В. «Низкоэнергетическое травление в пучково-плазменном разряде как метод создания материалов и структур нанoeлектроники», ФИРЭ РАН, к.ф.-м.н., специальность 01.04.04, 18 марта 2012.
8. Колтунов М.В. - PhD thesis -Mikhail Koltunov //Self-consistent modeling of plasma response to impurity spreading from intense localized source, Duesseldorf University, Germany, 26.10.2012 (http://docserv.uni-duesseldorf.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-24618/Koltunov_PhD_Thesis.pdf)
9. Степаненко А.М. «Исследование плазмы сильноточных пинчевых разрядов методами спектроскопии и интерферометрии», НИЦ «Курчатовский институт» к.ф.-м.н., специальность 01.04.08, 26 декабря 2012;

Издания кафедры:

1. Годовой отчет по НИР за 2011 год (ISBN 978-5-7262-1705-5) Ред. В.А. Курнаев, М.: МИФИ 2012, 48с.
2. Материалы XV конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». Москва, 2-3 февраля 2012 г. (ISBN 978-5-7262-1662-1) Ред. В.А. Курнаев и др., М.: МИФИ 2012, 92с.

3. Материалы XVIII российской конференции «Современные средства диагностики плазмы и их применение для контроля веществ и окружающей среды». Москва, 23-25 октября 2012. (ISBN 978-5-7262-1756-7) Ред. В.А. Курнаев и др., М.: МИФИ 2012, 172с.

Научно-организационные мероприятия, проведенные кафедрой:

1. Секция «Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез» на научной сессии МИФИ-2012, Москва, 30 января 2012 г.
2. XV Конференция «Взаимодействие плазмы с поверхностью», Москва, 2-3 февраля 2012г.
3. XVIII российская конференция «Современные средства диагностики плазмы и их применение для контроля веществ и окружающей среды», МИФИ, 23-25 октября 2012.

Международное сотрудничество:

1. University of California San Diego, USA - Стажировка, совместные исследования и публикации (аспирант Е.Д. Маренков), курс лекций профессора Крашенинникова для аспирантов кафедры (июнь 2012), заключено соглашение о сотрудничестве.
2. Max-Planck-Institut fuer plasmaphysik, Garching, Germany - Стажировка, совместные исследования и публикации, поддержанные объединением им.Гельмгольца и РФФИ (М.С. Зибров, С.А. Крат, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев)
3. Forschungszentrum Juelich, Germany – совместные исследования и публикации, подписан договор о стратегическом партнерстве.
4. ITER Organization, France – Стажировка (П.А. Шигин), завершен контракт по спектроскопическому обнаружению течей воды, совместные исследования и публикации (В.А.Курнаев, И.В.Визгалов, В.А.Урусов, Ф.Подолька, И.Сорокин)
5. Институт атомной энергии, г. Курчатова, Казахстан – Совместные исследования и публикации (Визгалов И.В., Курнаев В.А.)
6. Brookhaven National Laboratory, USA – Стажировка, совместные исследования и публикации (Ф.С. Подолька, И.А. Сорокин, И.В. Визгалов), рабочий визит д-ра А.Зеленского
7. CEA Cadarache, France – Совместные исследования (Л.Б. Беграббеков) + рабочий визит в МИФИ доктора Х. Гриволиа.
8. University of Illinois, USA – Совместные исследования, поддержанные контрактом МОН РФ (А.А.Писарев, Г.В.Ходаченко)
9. University of Gent (coordinator of European Erasmus Mundus program in Fusion physics and engineering) – участие и координация действий в магистерской и докторской программах в качестве ассоциированного члена
10. Львовская политехника, Украина – совместные исследования и разработки, рабочие визиты в МИФИ проф. И.А.Большаковой

**ДИПЛОМНЫЕ ПРОЕКТЫ, ЗАЩИЩЕННЫЕ СТУДЕНТАМИ КАФЕДРЫ В 2012 ГОДУ,
С ПРИСВОЕНИЕМ КВАЛИФИКАЦИИ ИНЖЕНЕР-ФИЗИК**

№	Фамилия И.О.	Руководитель	Тема дипломного проекта
T12-21			
1	Баловнев Алексей Владимирович	Салахутдинов Г.Х. НИЯУ МИФИ	Диагностика рентгеновского излучения плазмы многоканаль-ным спектрометром на основе термолуминесцентных детекторов
2.	Борисов Егор Сергеевич	Павленко А.В. ВНИИТФ	Внедрение PIV – метода для исследования гравитационных неустойчивостей на контактной границе двух газов
3.	Губанов Ярослав Борисович	Коновалов С.В. НИЦ «КИ»	Моделирование параметров убегающих электронов в ИТЭР
4.	Долинский Василий Юрьевич	Савельев Ю.А. ВНИИЭФ	Исследование характеристик прибора ТПИВН61, его калибровка и измерение нейтронного выхода на установках с плазменным фокусом
5.	Иванов Константин Александрович	Васин М.Г. ВНИИЭФ	Экспериментальное исследование деструктивных процессов в тонких фольгах при воздействии мощного фемтосекундного лазерного импульса
6.	Ключников Леонид Александрович	Крупин В.А. НИЦ «КИ»	Измерение профилей ионной температуры с помощью активной рекомбинационной спектроскопии (CXRS диагностики) на токамаке Т-10
7.	Кочнев Дмитрий Михайлович	Климов Н.С. ТРИНИТИ	Эффективность передачи энергии на поверхность плоской твердотельной мишени при облучении ее интенсивными плазменными потоками
8.	Меликян Кристина Александровна	Пилипенко В.А. ИФЗ	Пространственная структура МГД волн в магнитосфере Земли по наблюдениям на спутниках Themis
9.	Мустафин Никита Александрович	Сушков А.В. НИЦ «КИ»	Определение электронной температуры плазмы с помощью Двойного Многопроволочного Пропорционального Рентгеновского детектора на Токамаке Т-10
10.	Найденов Илья Владимирович	Визгалов И.В. НИЯУ МИФИ	Нейтронный генератор на основе автоколебательного разряда
11.	Николаева Валентина Евгеньевна	Курнаев В.А. НИЯУ МИФИ	Исследования пристеночной плазмы и результатов её взаимодействия с обращенными к плазме элементами токамака
12.	Носикова Наталия Сергеевна	Сурков В.В. НИЯУ МИФИ	Возможность наблюдения шумановских резонансов на спутнике
13.	Носуленко Дмитрий Сергеевич	Вихляев Д.А. ВНИИТФ	Измерение коэффициента отражения сферического кристалла кварца (1011) для длин волн 5,37 и 2,75 Å
14.	Плешков Евгений Иванович	Воронов Г.С. ИОФРАН	Спектроскопический метод определения микротечей воды

15.	Повод Вячеслав Сергеевич	Петров С.И. ВНИИЭФ	Разработка каналов регистрации сверхмягкого рентгеновского излучения
16.	Решнин Алексей Юрьевич	Сергеев В.Ю. НИЦ «КИ»	Расчет плотности мощности потерь плазмы на электронное циклотронное излучение
17.	Смирнов Дмитрий Юрьевич	Голубева А.В. НИЦ «КИ»	Накопление водорода в сплаве V-Cr-Ti
18.	Тарбеева Юлия Александровна	Иванов В.А. ИОФРАН	Компьютерное моделирование мультифакторного разряда на поверхности диэлектрика в прямоугольном волноводе
19.	Тумаркин Александр Владимирович	Ходаченко Г.В. НИЯУ МИФИ	Магнетронный разряд с расплавленным катодом
20.	Ухмылина Ольга Игоревна	Салахутдинов Г.Х. НИЯУ МИФИ	Диагностика рентгеновского излучения плазмы
21.	Фесенко Алина Александровна	Сергейчев К.Ф. ИОФРАН	Исследование послесвечения импульсного разряда для создания малошумящей плазменной СВЧ-антенны
22.	Хромов Павел Александрович	Ходаченко Г.В. НИЯУ МИФИ	Экспериментальное исследование сильнооточного импульсного магнетронного разряда с изменяемой конфигурацией магнитного поля
23.	Шалпегин Андрей Владимирович	Голубева А.В. НИЦ «КИ»	Литиевые пылевые эксперименты на токамаке Т-10
24.	Швыйковский Алексей Александрович	Соколов М.М. НИЦ «КИ»	Томографическая реконструкция плазмы с использованием диагностики мягкого рентгеновского излучения на МРХ детекторе
25.	Шишлов Александр Олегович	Грибов А.Н. ТРИНИТИ	Исследование зависимости потерь тока в вакуумной транспортирующей линии установки Ангара-5-1 от диаметра нагрузки
26.	Юсупова Елена Валерьевна	Лебедев Ю.А. ИНХС РАН	Исследование влияния постоянного поля на неравновесную приповерхностную плазму СВЧ разряда методом эмиссионной спектроскопии
E12-04			
1.	Евсин Арсений Евгеньевич	Беграмбеков Л.Б. НИЯУ МИФИ	Исследование захвата водорода в цирконии и в цирконии с хромовым покрытием в процессе плазменно-ассистированного осаждения покрытия и при последующем облучении в плазме
2.	Каплевский Александр Сергеевич	Беграмбеков Л.Б. НИЯУ МИФИ	Исследование захвата водорода в нержавеющей стали при ее облучении в дейтериевой плазме с примесью кислорода
3.	Крат Степан Андреевич	Гаспарян Ю.М. НИЯУ МИФИ	Изучение эрозии и осаждения материалов при взаимодействии с плазмой магнетронного разряда и в токамаке JET
4.	Макаров Андрей Александрович	Курнаев В.А. НИЯУ МИФИ	Формирование углеродно-вольфрамовых слоев, осаждаемых в AR плазме
5.	Небогатов Вячеслав Алексеевич	Пастухов В.П. НИЦ КИ	Адиабатически-редуцированные МГД уравнения для цилиндрической плазмы с анизотропным давлением
6.	Квон Владимир Валентинович	Беграмбеков Л.Б. НИЯУ МИФИ	Исследование возможности использования ионно-плазменного облучения в качестве метода ускоренного тестирования наводороживания циркониевых материалов



В день защиты дипломов 21.02.2012. В первом ряду преподаватели (слева направо): А.С. Савелов, В.С. Стрелков, В.С. Мирнов, Н.Г.Ковальский (председатель ГЭК), Г.С.Воронов, Б.В. Кутеев, Г.Г. Гладуш, В.А. Курнаев, А.А. Писарев

НИЦ «КИ» - Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,

ТРИНИТИ – Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, ГК «Росатом»,

ВНИИЭФ – Российский федеральный ядерный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики», Саров, ГК «Росатом»,

ВНИИТФ - Российский федеральный ядерный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. Е.И.Забабахина», Снежинск, ГК «Росатом»,

ИОФ РАН – Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН

ИФЗ – Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН

ИНХС – Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева РАН

Летняя практика школьников

№	Фамилия И.О.	Лицей	Тема проекта	Руководитель
1.	Котов Александр Владимирович	№ 1547	Установка «Лестница Иакова»	Даньшин В.В.
2.	Верещагин Михаил Евгеньевич	№ 1547	Установка «Лестница Иакова»	Даньшин В.В.
3.	Неретин Тимур Викторович	№ 1547	Рост кристаллов оксида вольфрама на поверхности пористых материалов	Ефимов В.
4.	Лозбенеv Николай Игоревич	№ 1511	Защитные покрытия на алюминии, нанесенные в магнетронном разряде	Зибров М.
5.	Пришвицын Александр Сергеевич	№ 1511	Защитные покрытия на алюминии, нанесенные в магнетронном разряде	Зибров М.
6.	Смирнов Владимир Сергеевич	№ 1511	Изучение спектрального состава излучения солнечной плазмы в видимом и ближнем ультрафиолетовом диапазонах	Кирко Д.Л.
7.	Смирнова Надежда Сергеевна	№ 1511	Изучение спектрального состава излучения солнечной плазмы в видимом и ближнем ультрафиолетовом диапазонах	Кирко Д.Л.
8.	Белозор Дарья Андреевна	№ 1511	Изучение спектрального состава излучения солнечной плазмы в видимом и ближнем ультрафиолетовом диапазонах	Кирко Д.Л.
9.	Воеводская Анна Сергеевна	№ 1511	Изучение спектрального состава излучения солнечной плазмы в видимом и ближнем ультрафиолетовом диапазонах	Кирко Д.Л.
10.	Белов Павел Кириллович	№ 1511	Удаление кислорода из нержавеющей стали при ее облучении в гелиевой плазме	Каплевский А.С.
11.	Емельяненко Андрей Сергеевич	№ 1511	Рост кристаллов оксида вольфрама на поверхности пористых материалов	Ефимов В.С.
12.	Косарев Дмитрий Владимирович	№ 1511	Рост кристаллов оксида вольфрама на поверхности пористых материалов	Ефимов В.С.
13.	Асхабов Умар Виситович	школа № 978	Методика прецезионной идентификации ионов с примерно одинаковыми массами	Синельников Д.Н.
14.	Каверин Илья Александрович	школа № 978	Методика прецезионной идентификации ионов с примерно одинаковыми массами	Мамедов Н.В.
15.	Смирнов Владимир Сергеевич	№1511	Исследование спектрального состава излучения Солнца	Кирко Д. Л.
16.	Смирнова Надежда Сергеевна	№1511	Исследование спектрального состава излучения Солнца	Кирко Д. Л.
17.	Белозор Дарья Андреевна	№1511	ТДС исследования газов захваченных в цирконий с хромовым покрытием во время испытаний в перегретом паре	Каплевский А.С.

18.	Воеводская Анна Сергеевна	№1511	ТДС исследования газов захваченных в цирконий с примесью атомов углерода в поверхностной области во время испытаний в перегретом паре	Евсин А.В.
19.	Мянюк Георгий Викторович	№1511	Определение коэффициента вторичной эмиссии	Мамедов Н.В.
20.	Евсеев Илья Александрович	№1511	Моделирование отражения ионов от тонких пленок на поверхности твердого тела	Синельников Д.Н.
21.	Михалина Мария Леонидовна	№1547	Моделирование движения частиц в магнетронных распылительных системах	Крат С.А.
22.	Балдин Андрей Дмитриевич	Школа №978	Осаждение оксида вольфрама из газовой среды	Ефимов В.С.
23.	Аверкина Марина Ильинична	№1511	Диагностика плазмы газового разряда	Крашевская Г.В.
24.	Хорошилова Алена Сергеевна	№1552	Диагностика плазмы газового разряда	Крашевская Г.В.
25.	Пятых Денис Владимирович	№1523	Получение углеродных нанотрубок методом магнетронного осаждения	Бернт Д.Д.
26.	Курочкин Сергей Андреевич	№1511	Влияние кремниевых покрытий на взаимодействие материалов с водой	Крат С.А.
27.	Евсеев Илья Александрович	№1511	Влияние кремниевых покрытий на взаимодействие материалов с водой	Крат С.А.
28.	Тумаркина Дарья Сергеевна	ЦО № 429	Нанесение покрытий из кремния в магнетронном разряде	Казиев А.В.
29.	Сиволап Максим Валерьевич	МБОУ СОШ им.В.Н.Комарова	Моделирование эксперимента по испытанию конвертера нейтральных частиц для прибора Ариес-Л в рамках проекта «Луна-Ресурс»	Синельников Д.Н.

По окончании двухнедельной (летней) практики часть школьников продолжила работу на кафедре, после чего ребята с успехом представили доклады на различных конкурсах в начале 2013 года.

Евсеев Илья и Курочкин Сергей по результатам конкурса «Юниор-2013» получили право представлять Россию на конкурсе INTEL ISEF – май 2013 в США.

Призовые места на конкурсе «Юниор-2013» заняли также Дарья Тумаркина, Дарья Белозор, Сиволап Максим.

СПИСОК СОТРУДНИКОВ И АСПИРАНТОВ КАФЕДРЫ

Штатные преподаватели

Беграмбеков Л.Б.	проф.
Визгалов И.В.	доцент
Гаспарян Ю.М.	доцент
Гуторов К.М.	доцент
Жданов В.М.	проф.
Захаров А.М.	доцент
Кирко Д.Л.	доцент
Крашевская Г.В.	доцент
Курнаев В.А.	проф., зав. каф.
Писарев А.А.	проф.
Савелов А.С.	проф.
Салахутдинов Г.Х.	проф.
Шигин П.А.	доцент
Садовский Я.А.	ассистент
Маренков Е.Д.	ассистент
Саранцев С.А.	ассистент

Совместители

Акишев Ю.С.	проф. (ТРИНИТИ)
Воронов Г.С.	доцент (ИОФ РАН)
Голубев А.А.	проф. (ИТЭФ)
Глова А.Ф.	проф. (ТРИНИТИ)
Зимин А.М.	инж. (МГТУ им.Баумана)
Иванов В.А.	доцент (ИОФ РАН)
Ильгисонис В.И.	проф. (ИФТ НИЦ КИ)
Кирнева Н.А.	доцент (ИФТ НИЦ КИ)
Ковыльникова В.Н.	инж.
Кутеев Б.В.	проф. (ИФТ НИЦ КИ)
Мирнов С.В.	проф. (ТРИНИТИ)
Мозарин Д.В.	доцент (Минобрнауки)
Морозов Д.Х.	проф. (ИФТ НИЦ КИ)
Стрелков В.С.	проф. (ИФТ НИЦ КИ)
Трифонов Н.Н.	доцент (Атомэнергopro-ект)
Трубников Б.А.	проф.-конс. (ИФТ НИЦ КИ)
Цветков И.В.	доцент (НИЯУ МИФИ)
Черковец В.Е.	проф. (ТРИНИТИ)

Научный сектор

Башутин О.А.	н.с.
Бердникова М.М.	инж. 1 кат.
Борисюк Ю.В.	инж. 1 кат.
Вайтонис В.В.	м.н.с.
Вергазов С.В.	н.с.
Вовченко Е.Д.	с.н.с., к.ф.м.н.
Вовченко Д.Е.	инж. 1 кат.
Гриднева Е.А.	н.с., к.ф.м.н.
Иванов И.В.	инж.вед.
Калачев А.М.	м.н.с.
Коборов Н.Н.	инж.
Королев Л.В.	инж. 1 кат
Перелыгин С.Ф.	с.н.с., к.ф.м.н.
Политько И.В.	инж.
Сотников В.М.	с.н.с. к.ф.м.н.
Степанова Т.В.	инж. 1 кат.
Урусов В.А.	н.с.
Фетисов И.К.	с.н.с., к.ф.м.н.
Ходаченко Г.В.	с.н.с, к.ф.м.н.
Щелканов И.А.	инж., к.ф.м.н.
Кондаков В.В.	0,5 инж., к.ф.м.н.

Вспомогательный персонал

Барышев О.А.	зав. уч. лаб.
Гордеев А.А.	инж. 1 кат.
Золотовская С.В.	инж.
Сидорова О.Н.	инж.
Тимошкова О.С.	ст. лаборант

Аспиранты

Мамедов Н.В.
Саранцев С.А.
Додулад Э.И.
Когут Д.К.
Маренков Е.Д.
Егоров И.Д.
Бородкина И.Е.
Казиев А.В.
Степаненко А.А.
Григорьева И.Г.
Литвин А.Д.
Евсин А.Е.
Каплевский А.С.
Крат С.А.
Николаева В.Е.
Тумаркин А.В.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ РАБОТ

<i>Atoian G.</i>	20, 21, 35	<u>Колодко Д.В.</u>	32
<i>Ritter J.</i>	20, 21, 35	<i>Крат С.А.</i>	9, 36
<i>Айрапетов А.А.</i>	29	<i>Крашевская Г.В.</i>	27
<i>Атаманов М.В.</i>	33	<i>Крашенинников С.И.</i>	7, 8, 12
<u><i>Баловнев А.В.</i></u>	16, 25	<i>Кузнецов А.П.</i>	22
<i>Башутин О.А.</i>	15, 17	<i>Курнаев В.А.</i>	10, 11, 32, 37
<i>Беграмбеков Л.Б.</i>	22, 28, 29	<u><i>Лепихов С.А.</i></u>	27
<u><i>Бернт Б.А.</i></u>	36	<i>Мамедов Н.В.</i>	32
<u><i>Бернт Д.Д.</i></u>	34	<u><i>Манохин И.Л.</i></u>	25
<i>Бобьрь Н.П.</i>	31	<i>Маренков Е.Д.</i>	7, 8, 10, 31
<i>Богомолова И.Н.</i>	37	<i>Писарев А.А.</i>	7, 8, 9, 33, 34, 36
<i>Бужинский О.И.</i>	22	<u><i>Подолько Ф.С.</i></u>	13, 14, 20, 21, 26, 30, 35
<i>Вергазов С.В.</i>	22, 28	<i>Пономарев Д.Д.</i>	38
<i>Визгалов И.В.</i>	13, 14, 20, 21, 25, 26, 30, 37	<i>Савелов А.С.</i>	15, 16, 17, 18, 19
<i>Вовченко Е.Д.</i>	15, 17, 38	<i>Садовский Я.А.</i>	28, 29
<i>Гаспарян Ю.М.</i>	8,9, 31, 36	<i>Салахутдинов Г.Х.</i>	16, 18
<i>Голубева А.В.</i>	31	<i>Саранцев С.А.</i>	15, 17
<i>Григорьева И.Г.</i>	18	<i>Синельников Д.Н.</i>	32
<u><i>Грунин А.В.</i></u>	28	<u><i>Скрипицын А.Ф.</i></u>	29
<i>Гуторов К.М.</i>	13, 14, 26, 30	<i>Смирнов Р.Д.</i>	7
<i>Деньщиков К.К.</i>	34	<u><i>Смоляков А.А.</i></u>	31
<i>Додулад Э.И.</i>	15, 16, 17	<i>Соколов И.А.</i>	37
<u><i>Дубров М.Л.</i></u>	29	<u><i>Сорокин И.А.</i></u>	13, 14, 20, 21, 26, 30, 35
<u><i>Ермаков В.Н.</i></u>	28	<i>Спицын А.В.</i>	31
<u><i>Ефимов В.С.</i></u>	31	<i>Степаненко А.А.</i>	12
<i>Захаров А.М.</i>	22	<i>Степанова Т.В.</i>	33
<i>Зеленский А.Н.</i>	20, 21, 35	<i>Трифонов Н.Н.</i>	11
<u><i>Зибров М.С.</i></u>	33	<u><i>Труфанов Д.А.</i></u>	10, 32
<i>Зуев В.А.</i>	37	<i>Туленбергенов Т.Р.</i>	37
<i>Игнашев В.И.</i>	37	<u><i>Тумаркин А.В.</i></u>	33
<i>Казиев А.В.</i>	23, 24, 33	<u><i>Фролов В.И.</i></u>	22
<i>Каплевский А.С.</i>	28	<i>Хасая Д.Р.</i>	38
<i>Кирко Д.Л.</i>	19	<i>Ходаченко Г.В.</i>	23, 24, 33
<i>Когут Д.К.</i>	11	<i>Цыбин А.С.</i>	38
<i>Козловский К.И.</i>	38	<i>Шигин П.А.</i>	28
<i>Колодешников А.А.</i>	37	<i>Шиканов А.Е.</i>	38
		<i>Ямсков К.И.</i>	22

Подчеркнуты фамилии студентов

15 конференция
«ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ»
 Заседание №1
Четверг, 2 февраля начало в **10.00**
 Аудитория К-608
Председатель – профессор БЕГРАМБЕКОВ Л.Б.

10.00 - 10.15	БАРЕНГОЛЬЦ С.А., МЕСЯЦ Г.А., ЦВЕНТУХ М.М. Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва Инициирование импульсов взрывной эмиссии – эктонов при воздействии плазмы на первую стенку и их роль в формировании эрозионной плазмы
10.15 - 10.30	С.Е. КРИВИЦКИЙ МГТУ им. Н.Э. Баумана Свойства металло-углеводородных пленок, получаемых при тестировании прототипов диагностических зеркал ИТЭР
10.30 - 10.45	В.Б. ЛАЗАРЕВ ¹ , С.В. МИРНОВ ¹ , А.Н. КОСТИНА ² , Н.Т. ДЖИГАЙЛО ¹ , В.М. НЕСТЕРЕНКО ¹ , И.Е. ЛЮБЛИНСКИЙ ³ , А.В. ВЕРТКОВ ³ ¹ ФГУП ГНЦ РФ ТРИНИТИ ² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ³ ОАО «Красная Звезда» Изучение особенностей циркуляции лития вблизи литиевого лимитера Т-11М с использованием дополнительного кольцевого коллектора-лимитера
10.45 - 11.00	В.С. ЕФИМОВ ¹ , А.А. МЕДНИКОВ ¹ , Ю.М. ГАСПАРЯН ¹ , А.А. ПИСАРЕВ ¹ , О.В. ОГОРОДНИКОВА ² ¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ² Институт физики плазмы им. Макса Планка (Германия) Влияние примесей азота в дейтериевой плазме на накопление дейтерия в вольфрам
11.00 - 11.15	МАРЕНКОВ Е.Д. ¹ , КУРНАЕВ В.А. ¹ , НОРДЛУНД К. ² ¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ² Университет Хельсинки, Финляндия Моделирование прохождения ионов водорода низких энергий через углеродные фольги
11.15 - 11.30	НИКОЛАЕВА В.Е. ¹ , КОГУТ Д.К. ¹ , КУРНАЕВ В.А. ¹ , БУДАЕВ В.П. ² , ГРАШИН С.А. ² , DEJARNAS R. ³ ¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ² НИЦ «Курчатовский Институт», Москва, Россия ³ Institute of Plasma Physics, Association EURATOM, Czech Republic Наблюдения аномально высокого уровня турбулентности пристеночной плазмы токамака
11.30 - 11.50	КОФЕ-БРЭЙК
11.50 - 12.05	А.А. МАКАРОВ, В.А. КУРНАЕВ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Моделирование осаждения из плазмы C-W слоёв методом молекулярной динамики
12.05 - 12.20	В.М. ЖДАНОВ, А.А. СТЕПАНЕНКО Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Уравнения переноса для многокомпонентной частично ионизованной пристеночной плазмы токамака
12.20 - 12.35	А.В. РОГОВ, М.Ю. НАГЕЛЬ, Ю.В. МАРТЫНЕНКО НИЦ Курчатовский институт, Москва Разравнивание поверхности оптических металлических зеркал при распылении с переосаждением продуктов эрозии
12.35 - 12.50	Ю.В. МАРТЫНЕНКО, М.Ю. НАГЕЛЬ ¹ НИЦ "Курчатовский институт" Модель образования «пуха» на поверхности вольфрама

12.50 - 13.05	ЗИБРОВ М.С., БЕРНТ Д.Д., ГАСПАРЯН Ю.М., ЕФИМОВ В.С., ПИСАРЕВ А.А. <i>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</i> Нанесение углеродных пленок на алюминий в магнетронном разряде
13.05 - 13.20	БЕГРАМБЕКОВ Л.Б., ГОРДЕЕВ А.А., ГРУНИН А.В., ЕВСИН А.Е., ШИГИН П.А. <i>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</i> Установка для осаждения защитных покрытий и их анализа методом термодесорбции
13.20- 13.40	КОФЕ-БРЕЙК
13.40- 13.55	БЕГРАМБЕКОВ Л.Б., ГОРДЕЕВ А.А., КАПЛЕВСКИЙ А.С., КУСТОВ И.К., МОСКАЛЕНКО И.Н. <i>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</i> Влияние поверхностных оксидных слоев на характер термодесорбции изотопов водорода из циркония
13.55- 14.10	БЕГРАМБЕКОВ Л.Б., ВЛАСЮК А.В., ЕРМАКОВ В.Н., КАПЛЕВСКИЙ А.С. <i>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</i> Исследование процессов насыщения и удаления рабочих газов из электродов и мишеней нейтронных трубок
14.10- 14.25	М.А. АЛХИМОВА, И.В. ВИЗГАЛОВ, Д.В. КОЛОДКО, В.А. КУРНАЕВ, Н.В. МАМЕДОВ, Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ <i>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</i> Встраиваемый малогабаритный источник плазмы
14.25- 14.40	ИВАНОВ Д.В., КУРНАЕВ В.А., МАМЕДОВ Н.В., СИНЕЛЬНИКОВ Д.Н. <i>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</i> Холодная эмиссия отрицательных ионов с пористого графита
14.40- 14.55	О.Н. АФОНИН ¹ , В.А. КУРНАЕВ ² ¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук ² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Определение микротечей в первой стенке реактора итер по спектрам свечения пристеночной плазмы

Заседание №2

Пятница, 3 февраля

начало в 10.00

Аудитория **Актовый зал (главный корпус)**

Председатель – профессор Писарев А.А.

10.10- 10.40	КУРНАЕВ В.А. <i>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</i> Итоги ИТРА совещания в Аахене в январе 2012.
10.40- 11.10	С.В. МИРНОВ ¹ , В.Б. ЛАЗАРЕВ ¹ , А.М. БЕЛОВ ¹ , И.Е. ЛЮБЛИНСКИЙ ² , А.В. ВЕРТКОВ ² ¹ ФГУП ГНЦ РФ ТРИНИТИ ² ОАО «Красная Звезда» Обзор последних достижений литиевой программы Т-11М
11.10- 11.30	ХИМЧЕНКО Л.Н. ¹ , ЖИТЛУХИН А.М. ² , КЛИМОВ Н.С. ² , ПОДКОВЫРОВ В.Л. ² , КУПРИЯНОВ И.Б. ³ , КРАСИЛЬНИКОВ А.В. ¹ , САФРОНОВ В.М. ¹ , БУДАЕВ В.П. ⁴ ¹ ЧУ «Проектный центр ИТЭР», Москва, Россия ² ФГУП ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Троицк, Московская область, Россия ³ ОАО ВНИИНМ, Москва, Россия ⁴ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия Плазменные испытания российского бериллия для первой стенки ИТЭР на установке КСПУ-Ве
11.30- 11.50	БЕГРАМБЕКОВ Л.Б., БАРСУК В.А., ДУБРОВ М.Л., ЖИТЛУХИН А.М., КАПЛЕВСКИЙ А.С., КЛИМОВ Н.С., КЛЮС Б.А., КОВАЛЕНКО Д.В., КУЗЬМИН А.А., МИЩЕНКО А.М., ПОДКОВЫРОВ В.Л., ШИГИН П.А. <i>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</i> Зависимость захвата водорода в углеродные пленки от скорости напыления
11.50-	Перерыв на кофе

12.10	
12.10-12.30	С.А. КРАТ ¹ , Ю.М. ГАСПАРЯН ¹ , М. МАЙЕР ¹ <i>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</i> ² <i>Институт физики плазмы, Гархинг (Германия)</i> Изучение эрозии и осаждения на внутренней стенке и в диверторе JET
12.30 - 12.50	И.Е. ЛЮБЛИНСКИЙ ¹ , А.В. ВЕРТКОВ ¹ , М.Ю. ЖАРКОВ ¹ , В.В. СЕМЕНОВ ¹ , С.В. МИРНОВ ² , В.Б. ЛАЗАРЕВ ² ¹ <i>ОАО «Красная Звезда», Москва</i> ² <i>ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Московская обл.</i> Вертикальный литиевый лимитер для экспериментов на токамаке T-11M
12.50-13.10	И.Е. ЛЮБЛИНСКИЙ ¹ , А.В. ВЕРТКОВ ¹ , В.А. ЕВТИХИН ¹ , В.Г. БАЛАКИРЕВ ¹ , Д.Я. ИОНОВ ¹ , Н.И. ЕЖОВ ¹ , М.Ю. ЖАРКОВ ¹ , В.В. СЕМЕНОВ ¹ , С.В. МИРНОВ ² , В.Б. ЛАЗАРЕВ ² , И.Л. ТАЖИБАЕВА ³ ¹ <i>ОАО «Красная Звезда», Москва</i> ² <i>ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Московская обл.</i> ³ <i>Институт атомной энергии НЯЦ РК, г. Курчатова</i> Макет литиевого дивертора токамака КТМ на основе капиллярно-пористых систем
13.10-13.30	-----
13.30-14.30	Перерыв на обед
14.30-14.50	БЫКОВ А.С., СЕРГЕЕВ В.Ю. <i>СПбГПУ</i> Кондиционирование разряда высокотемпературной плазмы T-10 методом инъекции литиевой пылевой струи
14.50-15.10	А.С. АЛЕКСАНДРОВА ¹ , А.П. КУЗНЕЦОВ ¹ , В.Н. ПЕТРОВСКИЙ ¹ , В.Г. ШТАММ ¹ , И.И. АРХИПОВ ² , О.И. БУЖИНСКИЙ ³ , С.А. ГРАШИН ² ¹ <i>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</i> ² <i>НИЦ Курчатowski институт, Москва</i> ³ <i>ФГУП ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Троицк</i> Лазерная очистка поверхностей зеркал от осажденных пленок для оптических диагностик на ИТЭР
15.10-15.30	В.П. БУДАЕВ ¹ , Н.С. КЛИМОВ ² , С.А. ГРАШИН ¹ , А.В. КАРПОВ ¹ , С.В. КРАЕВСКИЙ ¹ , Л.Н. ХИМЧЕНКО ³ , А.М. ЖИТЛУХИН ² , В.Л. ПОДКОВЫРОВ ² , Д.В. КОВАЛЕНКО ² , Ю.В. МАРТЫНЕНКО ¹ , Н.Е. БЕЛОВА ¹ ¹ <i>Национальный исследовательский центр Курчатowski институт, Москва</i> ² <i>ФГУП ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Троицк</i> ³ <i>Проектный центр ИТЭР, Москва</i> Формирование фрактальной структуры материалов в термоядерных установках
15.30-15.50	Т.Р. МУХАММЕДЗЯНОВ ¹ , К.Ю. ВУКОЛОВ ¹ , И.И. ОРЛОВСКИЙ ¹ , А.Ю. ТАРАНЧЕНКО ¹ , А.М. ТОБЕНГАУЗ ¹ , А.М. ЗИМИН ² , С.Е. КРИВИЦКИЙ ² ¹ <i>Национальный исследовательский центр "Курчатowski институт", Москва</i> ² <i>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана</i> Ресурсные испытания макета узла входного зеркала оптической диагностики ИТЭР в магнетронной установке
15.50-16.10	Перерыв на кофе
16.10-16.30	А.В. СПИЦЫН ¹ , А.В. ГОЛУБЕВА ¹ , Н.П. БОБЫРЬ ¹ , Д.И. ЧЕРКЕЗ ¹ , Ю.М. ГАСПАРЯН ² , В.С. ЕФИМОВ ² , М. МАЙЕР ³ , В.М. ЧЕРНОВ ⁴ ¹ <i>НИЦ «Курчатowski институт»</i> ² <i>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</i> ³ <i>Институт физики плазмы, г. Гархинг, Германия</i> ⁴ <i>ВНИИИМ им А.А. Бочвара, Москва</i> Взаимодействие изотопов водорода с низкоактивируемыми сталями и сплавом ванадия

16.30- 16.50	<p>В.С. АВИЛКИНА¹, Н.Н. АНДРИАНОВА¹, А.М. БОРИСОВ¹, Ю.С. ВИРГИЛЬЕВ², Е.С. МАШКОВА¹, П.Н. ЧЕРНЫХ</p> <p>¹Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ ²ФГУП НИИГрафит</p> <p>Исследование методом РОР измененного слоя высокоориентированного пиролитического графита при облучении ионами аргона</p>
16.50- 17.10	<p>Ю.М. ГАСПАРЯН¹, С.А. КРАТ¹, М.С. ЗИБРОВ¹, И. ТИМОФЕЕВ¹, М. МАЙЕР², А.А. ПИСАРЕВ¹</p> <p>¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ²Институт физики плазмы, Гархинг (Германия)</p> <p>Соосаждение пленок Li-D в магнетронном дейтериевом плазменном раз- ряде</p>
17.10- 17.50	Дискуссия
17.50 - 20.00	Welcome together (103, корпус 33. кафедра физики плазмы, надо одеваться)

Программа VIII российской конференции
«Современные методы диагностики плазмы и их применение»
 НИЯУ МИФИ 23-24 октября 2012

ВТОРНИК 23 ОКТЯБРЯ 2012 г.

ВРЕМЯ	ДОКЛАД
10:00	ОТКРЫТИЕ
10:20	А.В.Сушков МОДЕРНИЗАЦИЯ ТОКАМАКА Т-15
10:50	В.С. Неверов, А.Б. Кукушкин, М.Г. Левашова ПРОБЛЕМА РАССЕЯННОГО ДИВЕРТОРНОГО СВЕТА ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ Н- α СПЕКТРОСКОПИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ В ИТЭР
11:10	С.В. Серов, В.В. Серов, С.Н. Тугаринов РОЛЬ АКТИВНОЙ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ (CXRS) В ИЗМЕНЕНИЯХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ НА УСТАНОВКЕ ИТЭР
11:30	КОФЕ
11:50	Г.Е. Немцев, В.Н. Амосов, С.А. Мещанинов, А.Ю. Рахманов, Н.Б. Родионов, Р.Н. Родионов ДИАГНОСТИКА ТЕРМОЯДЕРНЫХ НЕЙТРОНОВ НА ТОКАМАКЕ ИТЭР. ВЕРТИКАЛЬНАЯ НЕЙТРОННАЯ КАМЕРА
12:10	Н.А. Смоланов, Н.А. Панькин АНАЛИЗ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ ИЗ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ И ПЛАЗЫ УТС
12:30	С.А. Швыкин, А.В. Батюнин, В.А. Воробьев, Ю.А. Кашук, С.Ю. Обудовский АКТИВНЫЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА УСТАНОВКЕ ТЕХТОР В ПОДДЕРЖКУ ПРОГРАММЫ СОЗДАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ИТЭР
12:50	Д.Г. Васильков БЫСТРЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПЛАЗМЕ СТЕЛЛАТОРА Л-2М
13:10	ПЕРЕРЫВ
14:10	В.А. Курнаев и др. СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ТЕЧЕЙ ВОДЫ В ИТЭР
14:30	В.Г. Петров ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ ПО ДАННЫМ ДВУХЧАСТОТНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ВРЕМЯПРОЛЕТНОЙ РЕФРАКТОМЕТРИИ ПЛАЗМЫ
14:50	В.И. Афанасьев, С.С. Козловский, А.Д. Мельник, М.И. Миронов, В.Г. Несеневич, М.П. Петров, С.Я. Петров, Ф.В. Чернышев АНАЛИЗАТОРЫ ПОТОКА АТОМОВ ПЕРЕЗАРЯДКИ НА ИТЭРе
15:10	А.Д. Ярошевская, И.М. Позняк, Д.М. Кочнев, Н.С. Климов, Д.В. Коваленко, А.А. Москачева, Д.А. Топорков, В.Л. Подковыров ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЫ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО ИМИТАЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ИТЭР НА ПЛАЗМЕННЫХ УСКОРИТЕЛЯХ
15:30	КОФЕ
16:00	А. Барсуков, К. Вуколов, А. Днестровский, Л. Ключников, К. Коробов, В. Крупин, Н. Науменко, А. Немец, С.Тугаринов ИЗМЕРЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ ИОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАЗМЫ С ПОМОЩЬЮ CXRS ДИАГНОСТИКИ НА УСТАНОВКЕ Т-10
16:20	В.Г. Марков, А.А. Окулов, Д.Е. Прохорович, А.Г. Садилкин ЭНЕРГОАНАЛИЗАТОР КОРПУСКУЛЯРНОЙ ЭМИССИИ ИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ НЕЙТРОННЫХ ТРУБОК
16:40	В.А. Красильников, В.Н. Амосов, Ю.А. Кашук, Д.А. Скопинцев

	ЦИФРОВОЙ АЛМАЗНЫЙ СПЕКТРОМЕТР АТОМОВ ПЕРЕЗАРЯДКИ ДЛЯ ТО-КАМАКА JET И ПРОЕКТ ДЛЯ ИТЭР
17:00	СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

СРЕДА 24 ОКТЯБРЯ 2012 г.

ВРЕМЯ	
10:00	Д.Н. Литвин СВЕХМОЩНЫЕ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ УТС
10:30	В.М. Градов, А.М. Зимин, С.Е. Кривицкий, С.В. Серушкин, В.И. Тройнов СПЕКТРАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА В ДЕЙТЕРИИ
11:00	Г.С. Волков, Е.В. Грабовский, А.Н. Грицук, В.И. Зайцев, Г.М. Олейник, М.В. Федулов, Е.А. Болховитинов, А.А. Рупасов, А.С. Шиканов, В.Г. Новиков, И.Ю. Вичев РЕНТГЕНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МЕГААМПЕРНЫХ Z-ПИНЧЕЙ
11:20	В.В. Ватулин, Л.А. Душина, Н.В. Жидков, А.Г. Кравченко, П.Г. Кузнецов, Д.Н. Литвин, В.В. Мисько, К.В. Стародубцев ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАЗМЫ В МИШЕНЯХ НЕПРЯМОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПО СКОРОСТИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В АЛЮМИНИИ НА УСТАНОВКЕ ИСКРА-5
11:40	КОФЕ
12:00	Ю.В. Ковтун, А.И. Скибенко, Е.И. Скибенко, В.Б. Юферов МИКРОВОЛНОВАЯ КОРЕЛЛЯЦИОННАЯ РЕФЛЕКТОМЕТРИЯ ГАЗОМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ
12:20	В.К. Гончаров, К.В. Козадаев, Д.В. Щегрикович ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ МЕТАЛЛОВ В АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЯХ
12:40	С.В. Королев К ВОПРОСУ КОРРЕКТНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЗОНДОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ФИЗИКЕ ПЛАЗМЫ
13:00	И.Ш. Абдуллин, Р.Г. Ибрагимов, В.В. Парошин ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ОБРАБОТКИ ВЧЕ-ПЛАЗМОЙ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ ТРУБЧАТОГО УЛЬТРАФИЛЬТРА БТУ-0,5/2
13:20	ПЕРЕРЫВ
14:20	А.П.Кузнецов ЛАЗЕРНАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ИМПУЛЬСНОЙ ПЛАЗМЫ Н.А. Смоланов, Н.А. Панькин, О.А.Блинов ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА НА ОПТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ПЛАЗМЫ
14:40	В.В. Александров, В.А. Брызгунов, Е.В. Грабовский, А.Н.Грицук, С.А. Данько, Е.Д. Казаков, Ю.Г. Калинин, В.Д.Королев, Я.И. Лаухин, С.Ф. Медовщиков, К.Н.Митрофанов, Г.М. Олейник, Е.А. Смирнова, Г.И.Устроев, И.Н. Фролов, А.П. Шевелько ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВУФ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПЕРИФЕРИЙНОЙ ПЛАЗМЫ ДЕЙТЕРИРОВАННОГО Z-ПИНЧА
15:00	
15:20	И. Ю. Вафин, А. И Мещеряков ИСКАЖЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ХОРДОВЫМ ХАРАКТЕРОМ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ИЗЛУЧЕНИЮ В РЕНТГЕНОВСКОМ ДИАПАЗОНЕ
15:40	КОФЕ
16:00	Д.И. Жуховицкий, В.Е. Фортов, В.И. Молотков, А.М. Липаев, В.Н. Наумкин, Х.М. Томас, А.В. Ивлев, Г.Е.Морфилл НЕВЯЗКОЕ ДВИЖЕНИЕ МЕДЛЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПЫЛЕВОМ КРИСТАЛЛЕ В

	УСЛОВИЯХ МИКРОГРАВИТАЦИИ
16:20	Е.П.Прокопьев ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЗИТРОНСОДЕРЖАЩИХ АТОМОВ И ИОНОВ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ, ГАЗАХ И ПЛАЗМЕ МЕТОДОМ ХАРТРИ-ФОКА
16:40	Ю.А. Лебедев, Е.В. Юсупова, И.Л. Эпштейн ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОСТОЯННОГО ПОЛЯ НА СВЧ РАЗРЯД В ВОДОРОДЕ ПО ЕГО ИЗЛУЧЕНИЮ
17:00	СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ И ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ

СПИСОК СТЕНДОВЫХ ДОКЛАДОВ

Ю.Ю. Луценко, Е.М. Шлотгауэр, В.А. Власов ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ КАНАЛА ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ФАКЕЛЬНОГО РАЗРЯДА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
С.Ю. Обудовский, А.В. Батюнин, В.А. Воробьев, Ю.А. Кашук, С.А. Швыкин ИЗМЕРЕНИЕ ТЕРМОЯДЕРНОЙ МОЩНОСТИ ИТЭР
А.В. Казиев, Г.В. Ходаченко ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ФОТОГРАФИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНЕТРОННЫХ РАЗРЯДОВ
А.М. Степаненко ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ ИЗ АНАЛИЗА ИНТЕРФЕРОГРАММ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕРОМЕТРА СДВИГА
А.В. Баловнев, И.Г. Григорьева, А.Д. Литвин, Э.И. Додулад, А.С. Савелов, Г.Х. Салахутдинов ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ ПРИ ПОМОЩИ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ
Д.И. Белотелов, М.М. Цвентух, В.А. Курнаев, В.А. Федоров, А.В. Кудрявцев, Ю.А. Парышкин, В.П. Алферов, С.П. Алферов ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ИОНИЗАЦИОННЫХ КАМЕР ДЕЛЕНИЯ В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ ТЕРМОЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИНТЕНСИВНЫХ ПОТОКОВ НЕЙТРОННОГО И ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ
И. Большакова, И. Васильевский, Л. Виерербл, Р. Голяка, И. Дюран, Я. Кость, С. Куликов, В. Курнаев, Е. Макидо, Ф. Шурыгин, Р. Стецко, А. Штабальюк ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ В ITER-ПОДОБНЫХ РАДИАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ
И.А. Бориев СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ ЗАКОНАМ ФИЗИКИ СВОЙСТВА ПЕРЕНОСА И РАЗОГРЕВА ЭЛЕКТРОНОВ В ПЛАЗМЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ: О ПРИЧИНАХ ИЗВЕСТНЫХ АНОМАЛИЙ И ПАРАДОКСОВ ПРИ ОПИСАНИИ ЭТИХ СВОЙСТВ
И.Г. Григорьева, А.С. Савелов, Г.Х. Салахутдинов ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО И КОРПУСКУЛЯРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ СИЛЬНОТОЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ
Е.А. Елистратов, А.П. Кузнецов, С.П. Масленников, А.А. Протасов ЛАЗЕРНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ФАБРИ-ПЕРО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ ОБЪЕМНОГО ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОГО РАЗРЯДА
Д.Л. Кирко, А.С. Савелов, Э.И. Додулад ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ВАКУУМНОЙ ИСКРЫ
С.А. Лепихов, Г.В. Крашевская АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЗОНДОВОЙ ДИАГНОСТИКИ
В.Г. Марков, А.А. Окулов, Д.Е. Прохорович, А.Г. Садилкин ЭНЕРГОАНАЛИЗАТОР КОРПУСКУЛЯРНОЙ ЭМИССИИ ИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ НЕЙТРОННЫХ ТРУБОК

<p>Н.А. Смоланов, Н.А. Панькин, О.А. Блинов ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА НА ОПТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ПЛАЗМЫ</p>
<p>Н.А. Смоланов, Н.А. Панькин АНАЛИЗ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ ИЗ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ И ПЛАЗМЫ УТС</p>
<p>М.В. Тригуб, Г.С. Евтушенко, Ф.А. Губарев, С.Н. Торгаев, К.И. Земсков НАБЛЮДЕНИЕ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ МОЩНЫХ ФОНОВЫХ ЗАСВЕТОК</p>
<p>В.А. Урусов НЕУСТРАНИМЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ ИСКАЖЕНИЯ СПЕКТРА, ИЗМЕРЯЕМОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМИ СПЕКТРОМЕТРАМИ</p>
<p>О.А. Башутин, Е.Д. Вовченко, Э.И. Додулад, И.Н. Москаленко, И.Ф. Раевский, А.С. Савёлов, С.А. Саранцев ИССЛЕДОВАНИЕ ВКЛАДА МАТЕРИАЛА ЭЛЕКТРОДОВ В ПЛАЗМУ СИЛЬНОТОЧНОЙ ВАКУУМНОЙ ИСКРЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНФИГУРАЦИИ ЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМЫ</p>
<p>Э.И. Додулад, С.А. Саранцев, Е.Д. Филиппов, И.Ф. Раевский ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ОСВЕТИТЕЛЯ НА МОЛЕКУЛЯРНОМ АЗОТЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В МЕЖЭЛЕКТРОДНОМ ПРОМЕЖУТКЕ НИЗКОИНДУКТИВНОЙ ВАКУУМНОЙ ИСКРЫ</p>
<p>М.А. Алхимова, Е.Д. Вовченко, С.А. Саранцев ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЬНОТОЧНОГО ВАКУУМНОГО РАЗРЯДА ПО ОСЛАБЛЕНИЮ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ</p>
<p>Е.Е. Тимофеев, С.Л. Шалимов, М.К. Валлинкоски, Й. Кангас ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМАЛЬНЫХ СТРУКТУР ЗАПЫЛЕННОЙ ПЛАЗМЫ ДИНАМО СЛОЯ АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЫ</p>

**ГODOVOЙ ОТЧЕТ ПО НИР
КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ ЗА 2012 г.**

20-й выпуск

Под редакцией В.А. Курнаева

Оригинал-макет подготовлен Степаненко А.А.

Подписано в печать 07.05.2013

Формат 60×84 1/8

Уч.-изд. л. 8,0

Печ. л. 8,0

Тираж 100 экз.

Изд. № 020-2

Заказ 110

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

Типография НИЯУ МИФИ.

115409, Москва, Каширское ш., 31