

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

**ГОДОВОЙ ОТЧЕТ ПО НИР
КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ ЗА 2013 г.**

Под редакцией В.А. Курнаева

Москва 2014

УДК 533.9

ГОДОВОЙ ОТЧЕТ ПО НИР КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ ЗА 2013 г. / Под ред. В.А. Курнаева. М.: НИЯУ МИФИ, 2014. – 56 с.

Отчет кафедры физики плазмы НИЯУ МИФИ за 2013 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 и поверхности, 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 2013 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 2013 г. научных конференциях и семинарах.

This annual report of the Plasma Physics Department (PPD) of National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute) for 2013 represents main results of theoretical, numerical, experimental and technological investigations obtained by faculty and scientific staff as well as by students in 2013. The report consists of 6 topics: theory and modeling, physics of discharges and beams, plasma and surface diagnostics, 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 2013 are given. The short information on conferences held by Department in 2013 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 978-5-7262-1977-6

© **Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2014**

СОДЕРЖАНИЕ

1. ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

С.И. КРАШЕНИННИКОВ, Е.Д. МАРЕНКОВ Роль электронной теплопроводности в испарении вольфрамовых пылинок в токамаках	6
А.А. ЕКСАЕВА, Е.Д. МАРЕНКОВ, Д. БОРОДИН, А. КИРШНЕР, М. ЛАЕНГЕР, В.А. КУРНАЕВ, А. КРЕТЕР Код ERO-PSI для моделирования взаимодействия изотопов водорода с материалами в линейных плазменных симуляторах	7
В.М. ЖДАНОВ, А.А. СТЕПАНЕНКО Уравнения переноса для химически активной частично ионизованной плазмы в магнитном поле	8
К.М. ГУТОРОВ, И.В. ВИЗГАЛОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО, И.А. СОРОКИН Моделирование ВАХ контакта плазмы с электродом с тонкой диэлектрической пленкой на поверхности	9
Д.А. ТРУФАНОВ, В.А. КУРНАЕВ, О.Л. ВАЙСБЕРГ, Р.Н. ЖУРАВЛЕВ, А.Ю. ШЕСТАКОВ Определение состава лунного реголита с помощью солнечного ветра	10
В.А. УРУСОВ Восстановление спектра для электростатических спектрометров с линейно связанными потенциалами	11
В.А. УРУСОВ Искажения спектра при экспоненциальной по времени развертке для электростатических спектрометров с линейно связанными потенциалами	12

2. ФИЗИКА РАЗРЯДОВ И ПУЧКОВ

А.В. КАЗИЕВ, А.В. ГУМАРКИН, Г.В. ХОДАЧЕНКО, И.А. КУЛИКОВ Импульсный магнетронный разряд с расплавленным катодом	13
А.В. КАЗИЕВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО Динамика перехода импульсного магнетронного разряда в нераспыляющие режимы	14
Е.Д. ВОВЧЕНКО, К.И. КОЗЛОВСКИЙ, А.С. САВЁЛОВ, А.Е. ШИКАНОВ Исследование ИЕС-диода с осциллирующими дейтронами	15
М.А. АЛХИМОВА, О.Б. АНАНЬИН, Е.Д. ВОВЧЕНКО, А.П. МЕЛЕХОВ, Р.Ш. РАМАКОТИ, А.С. САВЕЛОВ Исследование лазерно-индуцированного вакуумного разряда	16

3. ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЫ И ПОВЕРХНОСТИ

О.А. БАШУТИН, Е.Д. ВОВЧЕНКО, Э.И. ДОДУЛАД, В.А. КОСТЮШИН, А.С. САВЁЛОВ, С.А. САРАНЦЕВ Определение плотности импульсной плазмы эмитируемой Z-пинчевым разрядом из измерения кинетического давления	17
О.А. БАШУТИН, Е.Д. ВОВЧЕНКО, А.С. САВЁЛОВ Визуализация рентгеновского излучения в режиме реального времени	18
А.П. КУЗНЕЦОВ, Я.М. ДВОЕГЛАЗОВ, С.А. САРАНЦЕВ Временная динамика линейной электронной плотности плазмы низкоиндуктивной вакуумной искры	19
И.Ф. РАЕВСКИЙ, С.А. САРАНЦЕВ, Э.И. ДОДУЛАД, А.С. САВЁЛОВ Особенности лазерно-интерферометрической системы УФ – диапазона спектра для диагностики импульсной высокотемпературной плазмы Z – пинчевых разрядов	20

Н.В. МАМЕДОВ, В.А. КУРНАЕВ, Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, Д.В. КОЛОДКО Диагностика поверхности с помощью спектроскопии ионного рассеяния в газовой среде	21
---	----

4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ С ВЕЩЕСТВОМ

А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, С.В. ВЕРГАЗОВ, А.Н. ВОЙТЮК, А.А. ГОРДЕЕВ, Я.А. САДОВСКИЙ, В.П. ТЕРЕНТЬЕВ Газифицирование и удаление перенапыленных бор-углеродных слоёв	22
А.Е. ЕВСИН, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.А. ГОРДЕЕВ, А.В. ГРУНИН, А.С. КАПЛЕВСКИЙ Поведение водорода в циркониевом сплаве Э110 с хромовым покрытием в процессе осаждения покрытия в газовом разряде	23
А.С. ПОПКОВ, С.А. КРАТ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ Изучение захвата дейтерия при соосаждении с литием в магнетронном разряде	24
С.А. КРАТ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ, М. МАЙЕР Сравнение эрозии внутренней стенки токамака JET с углеродной и ИТЭР-подобной первыми стенками	25
М.С. ЗИБРОВ, А.А. ПИСАРЕВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, Е.А. МАРКИНА, М. МАУЕР, L. GAO, S. ELGETI, A. MANHARD, H. KURISHITA Удержание дейтерия в вольфраме с добавками карбида титана и карбида тантала	26
В.С. ЕФИМОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А. А. ПИСАРЕВ, О.В. ОГОРОДНИКОВА, А.В. СПИЦЫН, А.В. ГОЛУБЕВА, Н.П. БОБЫРЬ Накопление дейтерия в ферритно-мартенситных сталях при облучении в плазме	27
И.М. ТИМОФЕЕВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ, В.С. ЕФИМОВ Влияние состояния поверхности на десорбцию дейтерия из стали	28
К.М. ГУТОРОВ, И.В. ВИЗГАЛОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО, И.А. СОРОКИН Эрозия вольфрамового макета элемента первой стенки ТЯР при циклических тепловых нагрузках	29
С.А. САРАНЦЕВ Субмикронная структура на поверхности электродов сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры (СНВИ)	30

5. ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, В.А. КУРНАЕВ, Н.В. МАМЕДОВ, А.А. ДВОРНОВА, Д.В. КОЛОДКО Эмиссионные свойства модельного материала стенки ТЯР с диэлектрической пленкой	31
Г.М. ТАРАСЮК, А.А. ПИСАРЕВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО Плазменная модификация наноструктурированного пористого углерода для повышения емкости электрода суперконденсатора	32

6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПРИБОРЫ

П.П. СИДОРОВ Тепловые нагрузки камер плазменного фокуса	33
Ю.В. БОРИСЮК, Н.М. ОРЕШНИКОВА, А.А. ПИСАРЕВ, С.А. РЯБЦЕВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО Установка АТР (аномальный тлеющий разряд) для изучения модификации поверхности конструкционных материалов	34
Д.В. КОЛОДКО, Н.В. МАМЕДОВ, И.В. ВИЗГАЛОВ, Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, В.А. КУРНАЕВ Установка для измерения эмиттанса источников ионов низкого давления	35
Н.В. МАМЕДОВ, В.А. КУРНАЕВ, Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, Д.В. КОЛОДКО Автоматизация ионно-пучковой установки для реализации различных программ облучения	36

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Перечень трудов кафедры за 2013 год	37
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Дипломные проекты, защищенные студентами кафедры в 2013 году с присвоением квалификации инженер-физик, защищенные диссертации, летняя практика школьников	45
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Список сотрудников и аспирантов кафедры	51
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Именной указатель авторов работ	52
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Программа XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», НИЯУ МИФИ, 1 – 2 февраля 2013 г.	53

1. ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

РОЛЬ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ИСПАРЕНИИ ВОЛЬФРАМОВЫХ ПЫЛИНОК В ТОКАМАКАХ

С.И. КРАШЕНИННИКОВ, Е.Д. МАРЕНКОВ

Взаимодействие плазмы со стенкой в будущих термоядерных реакторах, в частности, токамаках, является одним из ключевых процессов, определяющих их работу. Эрозия материалов первой стенки приводит к формированию пылинок, которые попадают в плазму токамака. Испарение этих пылинок ведет к «загрязнению» плазмы, что влияет на протекание разряда. Поэтому исследования процессов транспорта пыли в токамаках выделено как одна из важнейших задач проекта ITER.

Обычно считается, что воздействие плазмы на пылинки может быть описано, в общем, с помощью моделей, разработанных для абляции пеллет. Пеллеты представляют собой частички замороженного дейтерия или трития, выстреливаемые в плазму для дополнительной подпитки топливом. Согласно представлениям этих моделей, испарение пеллеты приводит к формированию вокруг нее облака пара, окруженного вторичной плазмой вещества пеллеты [1]. Это приводит к эффекту экранирования, что влияет на скорость испарения, а, следовательно, и на процесс транспорта в плазме. Нагрев вещества пеллеты происходит, в основном, за счет воздействия потока электронов из основной плазмы. Обычно предполагается, что ни вторичная плазма, ни облако пара, не приводят к изменению этого потока.

Эти предположения, действительно, оправданы для транспорта пеллет или для испарения пылинок материалов с маленьким зарядовым числом, таких как углерод. Однако, в качестве основного материала дивертора ITER, выбран вольфрам. Простые оценки показывают, что для абляции вольфрамовой пылинки достаточного крупного размера (порядка 10^{-2} см) предположение о свободно проникающим через пар и вторичную плазму потоке электронов не выполняется, и существенную роль начинает играть электронная теплопроводность пара и вторичной плазмы. Таким образом, в этом случае адекватное описание процесса испарения может быть получено только при учете электронной теплопроводности.

В настоящей работе мы предлагаем модель абляции пылинок, учитывающую эти эффекты. Основными уравнениями модели являются уравнения теплопроводности для электронов во вторичной плазме и паре. Критерием необходимости учета теплопроводности может служить большая величина параметра ζ , определяемого как отношение характерного размера облака вторичной плазмы вдоль магнитного поля к средней длине свободного пробега электронов при их столкновениях с ионами вторичной плазмы. Как аналитические оценки, так и численное решение уравнений показывают, что для параметров, типичных для пристеночной плазмы токамака, $\zeta \sim 10^3$, что подтверждает существенную роль теплопроводности. Таким образом, влияние теплопроводности является существенным эффектом, определяющим испарение вольфрамовой пылинки.

Список литературы:

- [1] V. A. Rozhansky, I. Yu. Senichenkov, Plasma Phys. Rep. 31 (2005) 993.

КОД ERO-PSI ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА С МАТЕРИАЛАМИ В ЛИНЕЙНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ СИМУЛЯТОРАХ

А.А. ЕКСАЕВА, Е.Д. МАРЕНКОВ, Д. БОРОДИН*, А. КИРШНЕР*, М. ЛАЕНГЕР*,
В.А. КУРНАЕВ, А. КРЕТЕР*

*Институт энергии и климатических исследований – Физика Плазмы, Исследовательский центр Юлих, Ассоциация ЕВРОАТОМ, Германия

Известно, что взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами термоядерных реакторов является одной из основных проблем для осуществления управляемого термоядерного синтеза. Однако из-за многообразия вовлеченных в эти взаимодействия процессов, их исследование на реальных токамаках связано с существенными трудностями. Поэтому часто для изучения влияния плазмы на материалы первой стенки проводятся эксперименты на линейных плазменных симуляторах, таких как PSI-2 [1], в которых возможно получить плазму с параметрами, близкими к параметрам пристеночной плазмы токамаков. Вместе с тем, несмотря на более простые условия, аккуратная интерпретация результатов измерений на установках этого типа все равно невозможна без численного моделирования.

В настоящей работе мы представляем трехмерный Монте-Карло код ERO-PSI, предназначенный для расчета транспорта примесей в линейных плазменных симуляторах. Этот код является модификацией кода ERO, который рекомендован в качестве одного из инструментов расчета транспорта примесей в токамаке ITER [2]. Модификация кода включила в себя изменение геометрии магнитного поля и расположения диагностик, пространственного распределения плотности и температуры плазмы, положения и формы мишени.

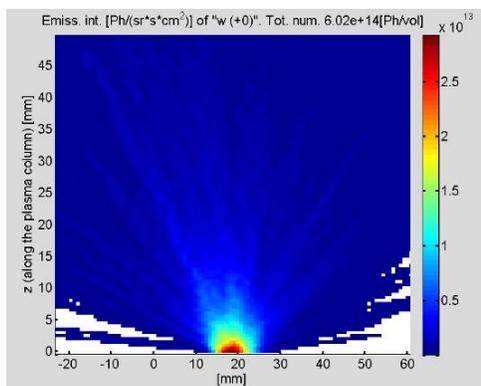


Рис. 1. Двухмерная картина излучения WI

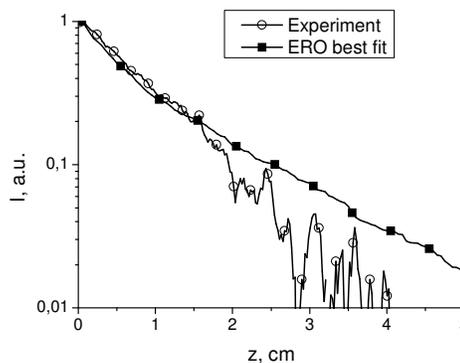


Рис. 2. Профиль интенсивности излучения WI

Результаты моделирования экспериментов по распылению вольфрамовой мишени в аргоновой плазме в установке PSI-2 показаны на рис. 1 и 2. На рис. 1 приведена двухмерная картина излучения нейтрального вольфрама (WI), а на рис. 2 – зависимость интенсивности излучения от расстояния до мишени. Видно, что кривая, полученная моделированием, хорошо согласуется с экспериментальной кривой, полученной с помощью спектрометра.

Список литературы:

- [1] A. Pospieszczyk et al., J. Nucl. Mater. 438 (2013) S1249–S1252.
- [2] A. Kirschner et al., J. Nucl. Mater. 363-365 (2007) 91-95.

УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА ДЛЯ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ЧАСТИЧНО ИОНИЗОВАННОЙ ПЛАЗМЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.М. ЖДАНОВ, А.А. СТЕПАНЕНКО

Низкотемпературная плазма современных плазменных установок представляет сложный объект для моделирования, поскольку она может содержать значительное количество нейтральных частиц - молекул и атомов, вращательные, колебательные и электронные уровни которых активно возбуждаются в процессе взаимодействия частиц и, кроме того, в ней могут протекать разнообразные химические реакции. Все эти процессы необходимо учитывать при теоретическом анализе явлений переноса в такой среде.

В настоящей работе на основе обобщенного метода Грэда [1,2] решения кинетического уравнения Больцмана с интегралом парных столкновений в форме Ван-Чанга и Уленбека и с химическим интегралом столкновений получена полная система уравнений переноса для химически активной многокомпонентной частично ионизованной плазмы в магнитном поле. При этом считается, что плазма является слабо неравновесной и выполнены следующие соотношения для характерных времен взаимодействия частиц плазмы:

$$\tau < \tau_{rot} < \tau_{vib} < \tau_e \ll \tau_r \ll \theta,$$

где τ , τ_{rot} , τ_{vib} , τ_e - соответственно характерные времена упругих столкновений и столкновений, протекающих с обменом энергией между вращательными, колебательными и электронными степенями свободы, τ_r - характерное время столкновений, приводящих к химическим реакциям, а θ - характерное время задачи. Выполнение этих условий соответствует установлению локального термодинамического и химического равновесия и позволяет считать, что функции распределения по поступательным и внутренним степеням свободы частиц плазмы нулевого приближения определяется при одной общей температуре.

Общая система уравнений моментов может быть существенно упрощена, если в ней опустить все нелинейные по числу Кнудсена слагаемые, а производные по времени от основных гидродинамических параметров плазмы (числовая плотность, средняя скорость и температура плазмы), исключить с помощью линеаризованных уравнений сохранения, соответствующих уравнениям Эйлера для химически активной среды. Решение этой системы уравнений позволяет получить линейные соотношения переноса для неравновесных параметров химически активной плазмы (таких как диффузионные и тепловые потоки частиц, тензор вязких напряжений) с выражениями для соответствующих кинетических коэффициентов. Отдельно получена система уравнений переноса для электронной компоненты плазмы вместе с выражениями для всех электронных коэффициентов переноса, которые являются обобщением соответствующих результатов, полученных Девото [3].

Детально проанализированы уравнения переноса для ряда частных случаев плазмы, когда можно пренебречь влиянием химических реакций: 1) уравнения переноса в приближении 17 моментов при учете внутренних степеней свободы частиц, 2) уравнения переноса в приближении 21 момента для плазмы, в которой все частицы считаются бесструктурными. Принятое приближение в последнем случае соответствует третьему приближению Чепмена-Каулинга для векторных величин (диффузия, термодиффузия и теплопроводность) и второму приближению того же метода для тензорных величин (вязкость) и поэтому обеспечивает достаточную точность расчета коэффициентов переноса плазмы в пределах как слабой, так и сильной ионизации плазмы.

Список литературы:

- [1] В.М. Жданов. *Процессы переноса в многокомпонентной плазме*. Физматлит, Москва, 2009.
- [2] В.М. Жданов, Г.А. Тирский. *ПММ* **67** (2003) 406.
- [3] R.S. Devoto. *Phys. Fluids* **9** (1966) 1230.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАХ КОНТАКТА ПЛАЗМЫ С ЭЛЕКТРОДОМ С ТОНКОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛЕНКОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ

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

Наличие тонкой диэлектрической пленки на поверхности погруженного в плазму электрода может приводить к увеличению эмиссионной способности поверхности в десятки раз, что было показано в работах [1, 2]. Вольтамперная характеристика такого электрода имеет N-образную форму с участком отрицательного дифференциального сопротивления. На практике наиболее интересна область отрицательных смещений электрода – здесь можно выделить горизонтальную «полочку» с нулевым током вблизи плавающего потенциала, соответствующую перезарядке пленки, следующую за ней почти вертикальную область резкого нарастания тока, оптимальную для стабилизации разряда, область отрицательного дифференциального сопротивления, в которой возможны автоколебательные режимы.

Модель для численного расчета ВАХ погруженного в плазму электрода с тонкой диэлектрической пленкой на поверхности основана на определении равновесного потенциала поверхности пленки и соответствующих токов для каждого значения потенциала электрода. В балансе токов участвуют токи ионов и электронов плазмы, токи вторичной ион-электронной и электрон-электронной эмиссии, ток электронов сквозь пленку с механизмом эмиссии Фаулера-Нордгейма. Электроны плазмы моделируются тремя группами, что соответствует условиям пучково-плазменного разряда: первичные электроны пучка, электроны плазмы с максвелловским распределением и группа надтепловых электронов. Основные входные расчетные параметры – плотность и температура плазмы, энергия и ток первичного электронного пучка, толщина пленки – определяются экспериментально.

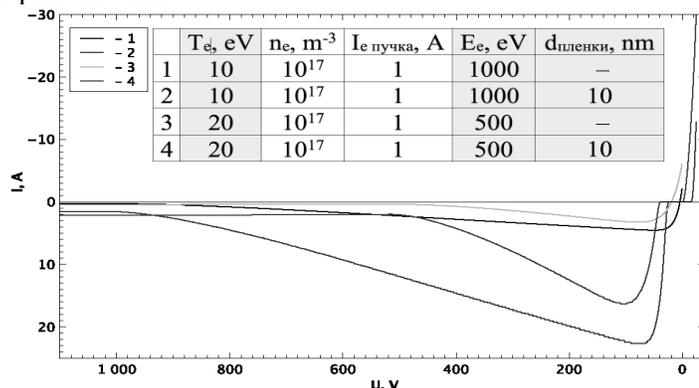


Рис. 1. Модельная ВАХ для алюминиевого электрода с пленкой оксида

Модель отработывалась на хорошо изученном материале – пленке собственного оксида на алюминиевом электроде, для которого известны все коэффициенты для расчета вторичной и полевой эмиссии. Расчет вторичной эмиссии производится с учетом распределения частиц по энергиям и их пробега в материале. Расчетная ВАХ (рис. 1) хорошо воспроизводит все наблюдаемые в эксперименте эффекты и положение максимумов и переломов по шкале напряжений.

Работа поддерживается грантом РФФИ № 13-02-01244.

Список литературы:

- [1] Гуторов К.М., Визгалов И.В., Маркина Е.А., Курнаев В.А. // Известия РАН. Серия физическая, 2010, Т. 34, №2, стр. 208-211.
- [2] Гуторов К.М., Визгалов И.В., Курнаев В.А. // Прикладная физика, № 6, 2011, с. 87-90.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ЛУННОГО РЕГОЛИТА С ПОМОЩЬЮ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Д.А. ТРУФАНОВ, В.А. КУРНАЕВ, О.Л. ВАЙСБЕРГ¹, Р.Н. ЖУРАВЛЕВ¹,
А.Ю. ШЕСТАКОВ¹

¹Институт космических исследований РАН, Москва

Исследование состава и структуры лунной поверхности является важной частью исследования происхождения, эволюции Луны, а также солнечной системы. Изучение поверхностного слоя лунного реголита можно провести с помощью анализа атомов, выбитых из поверхности солнечным ветром, который преимущественно состоит из ионов H^+ (~96%) и He^{++} (~4%) с характерными энергиями 1 кэВ и 4 кэВ соответственно, а величина потока равняется $3 \cdot 10^8$ ион/см²сек.

При анализе нейтральных атомов, выбитых и отраженных от поверхности Луны солнечным ветром, удобно использовать светосильные электростатические анализаторы. Для этого необходимо предварительно конвертировать нейтральные атомы в заряженные ионы. В настоящее время для этого используют твердотельные конвертеры благодаря простоте в эксплуатации, малым габаритам и весу.

Регистрируемые частицы проходят несколько этапов, каждый из которых влияет на их конечное число и энергию: распыление лунного реголита потоком солнечного ветра, отражение распыленных атомов от поверхности конвертера и их преобразование в ионы, движение полученных заряженных частиц в полях регистрирующего прибора.

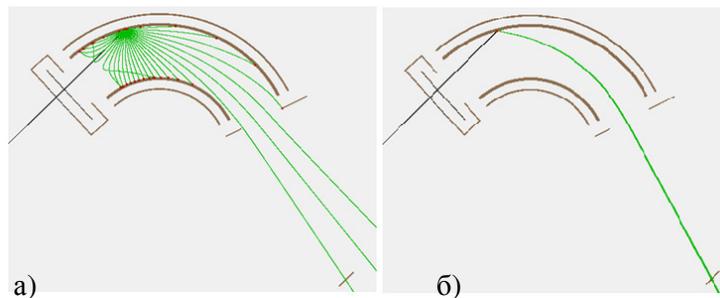
Произвести расчет всего движения частиц возможно с помощью компьютерного моделирования, используя, например, программу моделирования ионной оптики SIMION и код SCATTER для расчета взаимодействия атомных частиц с конденсированной средой.

При падении солнечного ветра на поверхность Луны из нее выбиваются атомы с характерными энергиями до 100 эВ.

Распыленные атомы отражаются от поверхности конвертера, при этом часть из них вылетает в виде ионов. При энергиях распыленных частиц до 100 эВ угловое распределение отраженных частиц близко к косинусному (углы падения до $\approx 60^\circ$), а энергетические потери несущественны для конвертеров с высоким атомным номером.

Полученные результаты служат входными параметрами для моделирования в коде SIMION движения заряженных частиц в анализаторе. Из всех частиц, отражающихся в определенной точке конвертера, необходимо выделить те частицы, которые попадают во входную щель анализатора.

Таким образом, возможно произвести расчет количества частиц реголита определенного вида, попадающих в регистрирующий прибор, а также отследить их энергию. При этом отражаются во все углы, б) выделены частицы, роль диагностического пучка попадающие во входную щель энергоанализатора играет солнечный ветер.



в Рис. 1. Траектории движения ионов в полях конвертера для одного источника: а) частицы отследить их энергию. При этом отражаются во все углы, б) выделены частицы, роль диагностического пучка попадающие во входную щель энергоанализатора играет солнечный ветер.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СПЕКТРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ СПЕКТРОМЕТРОВ С ЛИНЕЙНО СВЯЗАННЫМИ ПОТЕНЦИАЛАМИ

В.А. УРУСОВ

В практически важном случае для электростатических спектрометров с большой светосилой, используемых во вторичной ионной масс-спектрометрии (ВИМС) и масс-спектрометрии обратного рассеяния, невозможно гарантировать условие независимости углового распределения частиц на входе в спектрометр от энергетического распределения, позволяющее воспользоваться стандартной процедурой восстановления спектра делением на напряжение развертки (энергию настройки спектрометра) [1]. В работе для дисперсионного электростатического спектрометра, потенциалы на отклоняющих пластинах которого прямо пропорциональны, исследована процедура восстановления спектра в случае, когда энергетическое распределение частиц на входе в спектрометр зависит от углового распределения.

Приближенное решение уравнения связи сигнала на выходе спектрометра и распределением частиц по энергии при условии, что относительная ширина аппаратной функции много меньше единицы и потенциалов на пластинах спектрометра прямо пропорциональны [1]

$$I \approx I\delta(W)f_2(W) \int_0^\infty \int_{S_0} \int_{S_1} f_1(\eta, \xi, \alpha, \beta, W) J(\alpha, \beta, \eta, \xi) \sin\alpha dS_1 dS_0 dE, \quad (1)$$

где W - энергия настройки спектрометра $W = qkU$, $f_2(E)$ - функция распределения частиц по энергии, $f_1(\eta, \xi, \alpha, \beta, E)$ - функция распределения частиц по углам и сечению в плоскости входной диафрагмы, $J(\alpha, \beta, \eta, \xi) = \frac{\partial(\alpha, \beta)}{\partial(\eta, \xi)}$ - якобиан преобразования.

Можно показать, что интеграл в правой части уравнения (1) в первом приближении можно представить в виде

$$\int_0^\infty \int_{S_0} \int_{S_1} f_1(\eta, \xi, \alpha, \beta, W) J(\alpha, \beta, \eta, \xi) \sin\alpha dS_1 dS_0 dE_1 \approx CU_1, \quad (2)$$

где C — постоянная величина, не зависящая от углового распределения частиц на входе.

Проведенный анализ показывает, что для электростатических дисперсионных спектрометров с линейно связанными потенциалами деление полученного сигнала на потенциал развертки (энергию настройки) при восстановлении энергетического спектра дает в первом приближении правильный результат даже в случае, если частицы с разной энергией будут иметь разное угловое распределение на входе анализатора. Необходимо отметить, что полученный результат важен и для спектрометров с предварительным замедлением. В работе [2] была получена формула для восстановления спектров, при этом использовалось предположение, аналогичное доказанному выражению (2), т.е. предполагалось, что хотя после системы торможения угловые распределения будут отличаться при разных начальных энергиях, интеграл от аппаратной функции дисперсионной части спектрометра будет те же самым при фиксированной разности потенциалов дисперсионной части спектрометра.

Список литературы:

- [1] Курнаев В.А., Урусов В.А. // ЖТФ. 1997. Т.67. №6. С. 86-91.
- [2] Курнаев В.А., Урусов В.А. // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. Вып. 10. С. 24-30.

ИСКАЖЕНИЯ СПЕКТРА ПРИ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ ПО ВРЕМЕНИ РАЗВЕРТКЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ СПЕКТРОМЕТРОВ С ЛИНЕЙНО СВЯЗАННЫМИ ПОТЕНЦИАЛАМИ

В.А. УРУСОВ

Режим работы дисперсионного электростатического спектрометра, потенциалы которого на отклоняющих пластинах прямо пропорциональны при экспоненциальной по времени развертке спектра, является стандартным в двухкаскадных масс-спектрометрах с двойной фокусировкой. Площадь масс-пиков может служить эффективной оценкой для измерения изотопных отношений [1]. Особенностью экспоненциальной по времени развертки является то, что масс-пики получают постоянной ширины, что позволяет использовать для обработки спектра уравнение свертки с интегральным ядром разностного типа. Однако, возникает проблема нормировки пиков по амплитуде в этом режиме.

Для электростатических спектрометров, в которых угловое распределение частиц на входе в спектрометр не зависит от энергии и при условии прямой пропорциональности потенциалов на пластинах спектрометра

$$\frac{U_2}{U_1} = c_2, \dots, \frac{U_n}{U_1} = c_n, \quad (1)$$

где c_2, \dots, c_n - постоянные, как было показано в работе [2] сигнал на выходе и функция распределения по энергии связаны уравнением

$$I(U_1) = I_0 \int_0^{+\infty} A\left(\frac{qU_1}{E}, c_2, \dots, c_n\right) \delta(E) f(E) dE, \quad (2)$$

U_i — потенциалы на электродах спектрометра относительно входной диафрагмы, I_0 — ток частиц на входе в спектрометр, $\delta(E)$ — эффективность регистрации частиц детектором на выходе спектрометра, $f(E)$ – функция распределения частиц по энергии, нормированная на единицу.

После замены переменной U_1 в уравнении (2) на экспоненту уравнение приобретает вид уравнения свертки с экспоненциальным нормировочным множителем

$$I(t) = \frac{I_0 E_0 e^{-t/T}}{T} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-(\tau-t)/T} A\left(\frac{qU_{10}}{E_0} e^{(\tau-t)/T}\right) \delta(\tau) f(\tau) d\tau, \quad (3)$$

где $U_1 = U_{10} e^{-t/T}$, $E = E_0 e^{-t/T}$.

В первом приближении решение уравнения можно представить в виде

$$f(t) \approx C \frac{I(t) \cdot e^{t/T}}{I_0 \delta(t)}. \quad (4)$$

Таким образом, для правильного восстановления спектра и, соответственно, для правильной оценки при измерении изотопных отношений необходимо учитывать экспоненциальный множитель. Отметим, что указанное выше искажение спектра является принципиальной особенностью спектрометра при условии прямой пропорциональности потенциалов и не исчезает даже в случае идеальной фокусировке пучка частиц на выходе спектрометра и сколь угодно малой выходной щели.

Список литературы:

- [1] Разников В.В., Пыхтелев А.Р., Разникова М.О. // Масс-спектрометрия. 2006. Т. 3. № 2. С. 113-130.

2. ФИЗИКА РАЗРЯДОВ И ПУЧКОВ

ИМПУЛЬСНЫЙ МАГНЕТРОННЫЙ РАЗРЯД С РАСПЛАВЛЕННЫМ КАТОДОМ

А.В. КАЗИЕВ, А.В. ТУМАРКИН, Г.В. ХОДАЧЕНКО, И.А. КУЛИКОВ

Впервые реализован режим импульсного магнетронного разряда (ИМР) с расплавленным катодом. В нем совмещены технологические достоинства сильноточного импульсного магнетронного разряда (СИМР) и жидкофазного магнетронного разряда (ЖФМР). Импульсные режимы магнетронного разряда, к которым относится СИМР, а также разряды, используемые в технологии high-power impulse magnetron sputtering (HiPIMS), позволяют получать плазму, в которой степень ионизации распыленного вещества достигает значения 90% и даже выше. При этом в СИМР скорость нанесения покрытия (импульсная) из меди составляет десятки мкм/мин. В свою очередь, ЖФМР постоянного тока, обеспечивающий высокую скорость нанесения в стационарном режиме (~ 10 мкм/мин для меди), может быть реализован в отсутствие рабочего газа, т. е. в среде испаренных атомов металла [1]. Это положительно сказывается на чистоте покрытий, т. к. основным источником загрязнений пленок, полученных методом магнетронного распыления, являются примеси рабочего газа.

Разрядное устройство для реализации ИМР с расплавленным катодом представляет собой планарный магнетрон, в котором катодом служит расплавленный в процессе горения ЖФМР металл, помещенный в теплоизолированный тигель [1]. Разряд переводится в импульсный квазистационарный режим путем подачи на разрядный промежуток импульса высокого напряжения при коммутации искусственной длинной линии.

Исследовано влияние магнитного поля и давления рабочего газа на режим ИМР с расплавленным катодом как в среде рабочего газа (Ar), так и в его отсутствие. На рис. 1 показаны зависимости тока разряда от напряжения в процессе импульса.

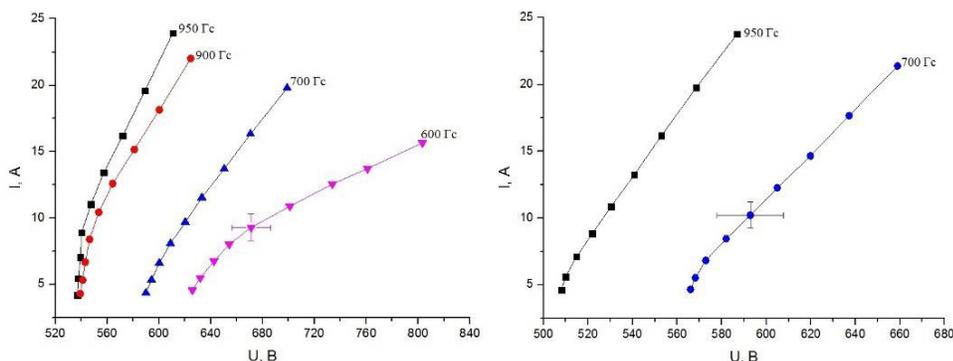


Рис. 1. Зависимость тока разряда от напряжения в процессе ИМР с расплавленным медным катодом: а) в аргоне; б) без рабочего газа (в парах мишени)

При переходе разряда в режим горения в парах мишени зависимости ведут себя аналогично режиму работы в среде рабочего газа. При увеличении давления рабочего газа ток разряда практически не растет, что свидетельствует о том, что ИМР с расплавленным катодом существует, в основном, за счет испаренных атомов материала катода.

С помощью импульсной зондовой диагностики определена плотность плазмы ИМР с расплавленным катодом на расстоянии 5 см от поверхности расплава: $n_{\max} = 10^{13} \text{ см}^{-3}$, что значительно превышает плотность плазмы стационарного ЖФМР (~ 10^{11} см^{-3}).

Список литературы:

- [1] Тумаркин А. В., Ходаченко Г. В., Казиев А. В., Щелканов И. А., Степанова Т. В. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1, № 3. С. 276–282.

ДИНАМИКА ПЕРЕХОДА ИМПУЛЬСНОГО МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА В НЕРАСПЫЛЯЮЩИЕ РЕЖИМЫ

А.В. КАЗИЕВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО

В последнее время среди магнетронных разрядов все большее внимание исследователей привлекают импульсные режимы работы, в которых существенно увеличивается мгновенная мощность. К ним относятся сильноточный импульсный магнетронный разряд (СИМР) и разряды, используемые в технологии high-power impulse magnetron sputtering (HiPIMS). Оказывается, что рабочие параметры (длительность импульса, максимальный ток) таких МРС в процессах реактивного распыления с использованием активно окисляющихся катодов существенно ограничены [1]. Одной из причин такого ограничения при определенных условиях является переход в нераспыляющий магнетронный разряд (НРМР). НРМР в диапазоне давлений рабочего газа 0,1–1 Па характеризуется достаточно низким напряжением разряда (80–90 В) и однородным распределением параметров плазмы в разрядном промежутке.

Проведено исследование процессов, происходящих при переходе СИМР в низковольтные режимы разряда при работе с активно окисляющимся катодом (Al) в кислородосодержащей среде (смесь Ar и CO₂).

Для исследования импульсных режимов применялась синхронизированная система диагностик, включающая электрические и магнитные зонды, высокоскоростную съемку и оптическую эмиссионную спектроскопию. Экспериментальные результаты показывают, что низковольтные формы разряда, близкие по интегральным характеристикам, могут иметь существенно различную структуру и динамику развития. В частности, впервые продемонстрировано существование двух различных форм НРМР. На рис. 1 показаны изображения СИМР, НРМР и дугового разряда в устройстве с профилированными электродами, полученные с помощью высокоскоростной камеры.

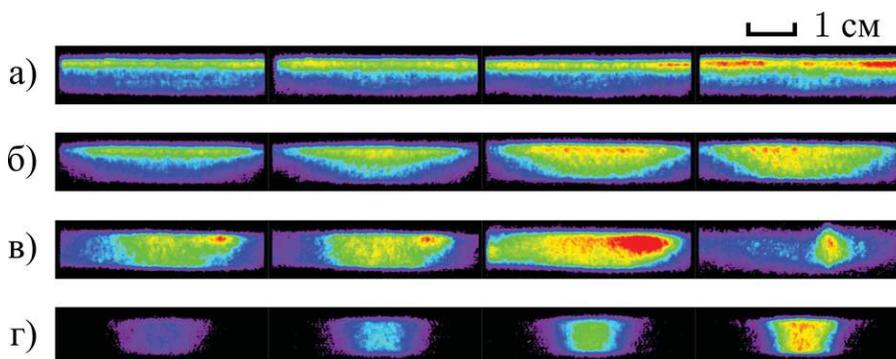


Рис. 1. Изображения разрядов, полученные с помощью высокоскоростной камеры:
а) СИМР; б) НРМР (режим 1); в) дуга; г) НРМР (режим 2) (экспозиция 1 мкс)

Благодаря системе магнитных зондов, синхронизированной с оптической диагностикой, обнаружено протекание низкочастотных (до ~ 10 кГц) и высокочастотных (~ 1 МГц) периодических процессов в плазме НРМР. Пики в низкочастотной области фурье-спектра сигналов магнитных зондов появляются только при наличии наблюдаемого периодического движения неоднородностей в плазме. Частоты, соответствующие таким пикам, хорошо согласуются с частотами периодических процессов, определенными по результатам съемки. Напротив, когда такие процессы не регистрируются высокоскоростной оптической диагностикой, пики в низкочастотной области исчезают.

Список литературы:

[1] Selinder T.I. et al. // Int. J. of Refractory Metals & Hard Materials. 2009. V. 27 P. 507.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЕС-ДИОДА С ОСЦИЛЛИРУЮЩИМИ ДЕЙТРОНАМИ

Е.Д. ВОВЧЕНКО, К.И. КОЗЛОВСКИЙ, А.С. САВЁЛОВ, А.Е. ШИКАНОВ

Исследована разрядная плазменная система для генерации нейтронов в реакции $D(d, n)^3\text{He}$, основанная на принципе инерционно-электростатического удержания (Inertial Electrostatic Confinement - ИЕС) ионов в импульсном высоковольтном диоде. Для увеличения нейтронного выхода в диоде организован режим осцилляции ускоренных дейтронов. Ядерные реакции осуществляются в результате двух видов взаимодействия: встречных потоков дейтронов (канал 1) и потоков ускоренных дейтронов с дейтронами, нейтральными атомами и молекулами дейтерия, заполняющего объем диода (канал 2).

Электродная система ИЕС-диода имеет осевую симметрию (рис.1) и состоит из внешнего цилиндрического анода 1 и внутреннего катода 2, расположенного в центре диодной системы. Анод симметрично охватывает катод и представляет собой полый тонкостенный цилиндр с внутренним радиусом r_A и высотой H (часть анода, закрывающая катод, на рис. 1 не показана). Полый комбинированный катод выполнен в виде двух параллельных соосных дисков радиуса r_k , соединенных между собой с помощью четырех тонких металлических стержней-штанг длиной h , расположенных симметрично относительно оси диода на расстоянии r_c от нее.

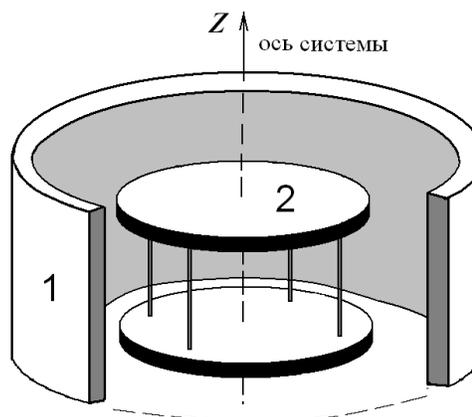


Рис.1. Электродная система диода

На основе построенной расчетно-теоретической модели осцилляции дейтронов получены соотношения геометрических размеров диодной системы, при которых нейтронный выход максимален

$$0.95 \leq \frac{H}{h} \leq 1.05; \quad 0.85 \leq \frac{r_k}{h} \leq 1.15; \quad 1.25 \leq \frac{r_A}{r_k} \leq 1.45; \quad 0.50 \leq \frac{r_c}{r_k} \leq 0.75; \quad (1)$$

а также определены границы изменения всей совокупности геометрических параметров: $r_A = 0,03 \div 0,06$ м; $H = 0,06 \div 0,10$ м; $r_k = 0,015 \div 0,030$ м; $h = 0,02 \div 0,05$ м.

Экспериментальное исследование проводилось для оптимизированной геометрии электродов при наполнении рабочей камеры диода водородом или дейтерием. Давление варьировалось в пределах $1 \div 60$ Па. В качестве источника ускоряющего напряжения использовался генератор импульсных напряжений (ГИН) с повышающим трансформатором (амплитуда в режиме холостого хода $U_{xx} \leq 150$ кВ, длительность $t_{имп} \sim 3$ мкс). Ток в импульсе достигал 50 А.

Устойчивая объемная форма разряда с полым катодом получена при комбинированном возбуждении, когда импульс высокого напряжения прикладывался к предварительно ионизованному разрядному промежутку. При этом на фоне общего однородного свечения отчетливо выделялись радиальные «электронные лучи» – узкие яркие области. Их формирование обусловлено осцилляцией ионов и наблюдалось только в узком диапазоне параметров возбуждения. В дейтериевой плазме подобный режим обеспечивает эффективное протекание ядерной реакции $D(d, n)^3\text{He}$ и генерацию нейтронного импульса.

Результаты эксперимента хорошо согласуются с расчетной моделью и при организации высоковольтного возбуждения в импульсно-периодическом режиме с частотой следования порядка 100 Гц показывают возможность получения потока нейтронов $Q \approx 10^7$ нейтр/с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОГО ВАКУУМНОГО РАЗРЯДА

М.А. АЛХИМОВА, О.Б. АНАНЬИН, Е.Д. ВОВЧЕНКО, А.П. МЕЛЕХОВ,
Р.Ш. РАМАКОТИ, А.С. САВЕЛОВ

Проведено исследование лазерно-индуцированной разрядной плазмы, генерирующей рентгеновское излучение (РИ) с энергиями квантов $h\nu = 3 \div 12$ кэВ. Показана возможность регулирования спектра источника РИ за счет изменения расстояния между электродами и варьирования запасаемой энергии. Эксперименты выполнены на установке «Аллигатор», представляющей собой источник высокотемпературной плазмы на основе вакуумного искрового разряда с лазерным инициированием.

Электродная система разрядного модуля выполнена в геометрии острие-острие (рис.1). Основной энерговклад обеспечивала низкоиндуктивная батарея конденсаторов, подключаемая параллельно разрядному промежутку. Применялись конденсаторные сборки с суммарной емкостью $C_1 = 0,2$ мкФ и $C_2 = 0,011$ мкФ при рабочем напряжении $U \leq 15$ кВ. Для инициирования разряда использовалось импульсное излучение Nd: YAG лазера ($\lambda = 1,06$ мкм, $\tau = 15$ нс, $E = 25$ мДж). Лазерный пучок, в отличие от традиционной схемы инициирования, фокусировался на анод. Выбор «обратной» полярности позволяет одновременно с РИ диагностировать и положительные ионы, имитируемые разрядом в присоединенном направлении.

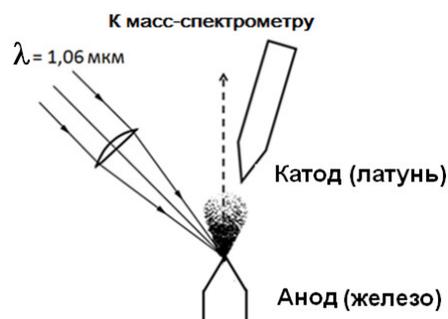


Рис. 1. Геометрия разрядного промежутка

Для исследования спектрального состава рентгеновского излучения использовался метод поглощающих фильтров. Ослабление РИ за Al фильтрами различной толщины определялось по почернению рентгеновской пленки *Kodak*. Эксперименты проводились при давлении $P = 3 \cdot 10^{-5}$ торр, напряжении $U = 13$ кВ и расстояниях между электродами $d = 2 \div 7$ мм. Кассету с рентгеновской пленкой и набором из девяти Al фильтров, толщина которых изменялась от 2 до 180 мкм, размещали внутри камеры взаимодействия на расстоянии 6 см от источника РИ.

Исследовались два режима. Для емкости $C_1 = 0,2$ мкФ запасаемая энергия составила величину $w = 17$ Дж. При этом максимальный выход РИ наблюдается при $d = 5$ мм, а спектр РИ определяется в основном «жесткой» компонентой с монотонным спадом интенсивности при уменьшении энергии квантов от 5 до 12 кэВ. При других значениях d в спектре РИ доминирует более мягкая компонента ($3 \div 5$ кэВ). Для емкости $C_2 = 0,011$ мкФ запасаемая энергия уменьшилась до $w = 1$ Дж, но скорость ввода энергии в разряд увеличивалась. При этих условиях максимальный выход РИ с преобладанием «жесткой» компоненты наблюдался при уменьшении расстояния между электродами до $d = 2$ мм. Таким образом, варьирование запасаемой энергии и расстояния между электродами позволяет осуществлять целенаправленный выбор начальных условий для оптимизации рабочего режима разряда.

Кроме рентгеновского излучения также исследован компонентный состав и зарядовое распределение эмитируемых ионов. Регистрация масс-спектров производилась вдоль оси разряда с помощью времяпролетного магнитного масс – анализатора (рис. 1). В спектре присутствуют как ионы цинка и меди (материал катода), так и ионы железа (материал анода). Максимальная зарядность ионов увеличивается в четыре раза при изменении запасаемой энергии от $w = 1$ Дж (Zn^{6+} , Cu^{5+} и Fe^{4+}) до $w = 17$ Дж (Zn^{21+} , Cu^{20+} и Fe^{18+}).

3. ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЫ И ПОВЕРХНОСТИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ ПЛАЗМЫ ЭМИТИРУЕМОЙ Z-ПИНЧЕВЫМ РАЗРЯДОМ ИЗ МЕРЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

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

Разряды типа сильнооточная низкоиндуктивная искра (СНВИ) являются интенсивными источниками заряженных частиц. Это делает возможным использовать их для напыления тонких пленок вещества на поверхность твердых тел в технологических и научных целях. Кроме того, знание количественных характеристик потоков частиц необходимо для учета воздействия потоков плазмы, эмитируемых разрядом, на элементы электродной системы, диагностической аппаратуры и стенки камеры установки.

В данной работе представлены результаты комплексного исследования корпускулярных потоков, эмитируемых разрядом СНВИ.

С помощью бесконтактной лазерной методики, разработанной совместно с сотрудниками кафедры «лазерная физика» НИЯУ МИФИ [1], измерена временная динамика газокинетического давления плазмы на различных расстояниях от оси разряда.

На установке «Зона-2» с помощью зондовой методики определены скорости потоков плазмы, эмитируемых микропинчевым разрядом.

Для этих целей был разработан и собран многосеточный зонд, особенностями конструкции которого явилось: возможность изменять межсеточное расстояние, наличие специального стыковочного узла, позволившего устанавливать зонд на различных экспериментальных установках и изменять длину его времяпролетной базы.

На рис. 1 представлена типичная осциллограмма сигнала с зонда при регистрации ионной составляющей корпускулярного потока и тока разряда.

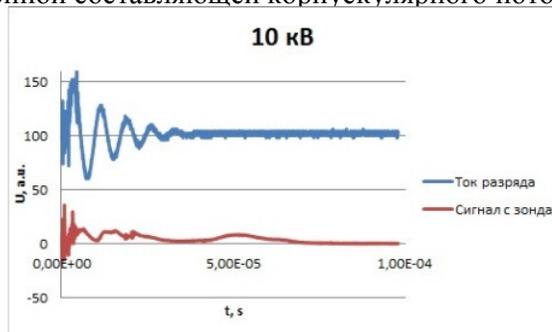


Рис. 1. Сигнал с коллектора зонда при зарядовом напряжении конденсаторной батареи 10 кВ

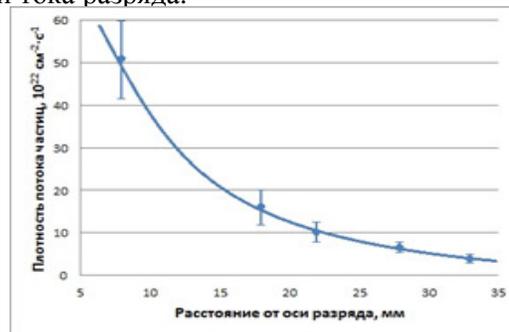


Рис. 2. Величина плотности потока плазмы на различных расстояниях от оси разряда, при напряжении на электродах 10 кВ

Сигнал ионной составляющей потока частиц, эмитируемых разрядом, регистрировался на осциллограмме через $t=50\pm 5$ мкс после начала протекания разряда, что соответствует скорости $\sim 10^4$ м/с.

Из результатов моделирования электрических полей в межэлектродном промежутке можно сделать вывод, что на расстояниях от оси разряда 8 мм и более влияние ускоряющих электрических полей на поток заряженных частиц пренебрежимо мало и их скорость остается неизменной до попадания на коллектор зонда.

Величины газокинетического давления, определяемого ионами плазмы, и экспериментально полученные значения скорости ионной составляющей позволили рассчитать значения плотности плазмы на периферии разряда (рис. 2).

Список литературы:

- [1] Кузнецов А.П., Бялковский О.А., Губский К.Л. и др. // Физика плазмы. 2014. Т. 40. №4. С. 359-367.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

О.А. БАШУТИН, Е.Д. ВОВЧЕНКО, А.С. САВЁЛОВ

Для обеспечения оперативного контроля координат локализации и интенсивности излучения импульсных рентгеновских источников в режиме реального времени разработана система регистрации на основе комбинации медицинского рентгеновского усиливающего экрана, электронно-оптического преобразователя (ЭОП) видимого излучения и цифровой фотокамеры.

Рентгеновское излучение разрядной плазмы проецируется на флуоресцентный экран, расположенный непосредственно на входном окне ЭОП. Свечение люминофора усиливается ЭОП и регистрируется цифровым фотоаппаратом, управляемым от компьютера. Флуоресцентный экран изготавливается из медицинского усиливающего экрана путем отделения слоя люминофора от бумажной подложки. Достоинством такого решения, помимо относительной дешевизны, является возможность изменения условий регистрации за счет подбора типа рентгеновского экрана, наиболее соответствующего диапазону энергий и интенсивности излучения исследуемых рентгеновских квантов.

В описываемых экспериментах использовался слой люминофора $ZnS\cdot CdS\text{-}Ag$ с нагрузкой 40 мг/см^2 от медицинского усиливающего экрана типа УС, который наиболее подходит для регистрации излучения с энергией квантов менее 30 кэВ. Диапазону энергий свыше 50 кэВ значительно лучше соответствуют усиливающие экраны на основе люминофора $CaWO_4$, например, типа ВП-1А или РЕНЕКС УПВ-2. Светоотдача таких экранов при энергиях квантов ~ 60 кэВ сравнима со светоотдачей люминофора $ZnS\cdot CdS\text{-}Ag$, а при энергиях ~ 100 кэВ превышает ее почти в четыре раза. Следует отметить, что разрешающая способность усиливающих экранов не уступает разрешению дорогостоящих специализированных рентгеновских ЭОП и достигает 8 линий/мм.

В качестве усилителя видимого излучения использовался ЭОП типа ЭПВ-20 с мультищелочным катодом, наибольшая спектральная чувствительность которого совпадает с диапазоном излучения флуоресцентного экрана (~ 500 нм). Экран располагался непосредственно на входном окне ЭОП и закрывался кожухом из светонепроницаемой бумаги для защиты от фоновой засветки. Большой размер входного экрана ЭОП (диаметр 43 мм) допускает одновременную регистрацию нескольких обскурограмм в разных энергетических диапазонах, что позволяет оценить энергетический спектр регистрируемого излучения. Регистрация изображения с выходного экрана ЭОП может производиться любым цифровым фотоаппаратом, допускающим возможность управления с компьютера. В представляемых экспериментах использовались фотоаппарат Canon 450D и цифровая камера Видеоскан-205.

Из-за недостаточно плотного прилегания люминофора к фотокатоду, разрешение экрана с нагрузкой 40 мг/см^2 не превышает 6 линий/мм. С учетом разрешения ЭОП (35 линий/мм) и объектива фотоаппарата (60 линий/мм) суммарная разрешающая способность такой регистрирующей системы составляет около 5 линий/мм, что позволяет различать на флуоресцентном экране объекты размером ~ 200 мкм.

Разработанная система регистрации рентгеновских изображений была использована для оптимизации излучательных характеристик микропинчового разряда, обеспечивая при двукратном увеличении камеры обскуры пространственное разрешение ~ 100 мкм. Оценка диапазона энергий квантов излучения при одновременной регистрации трех обскурограмм за различными фильтрами согласуется с результатами, полученными с помощью термомлюминисцентных детекторов.

ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ НИЗКОИНДУКТИВНОЙ ВАКУУМНОЙ ИСКРЫ

А.П. КУЗНЕЦОВ, Я.М. ДВОЕГЛАЗОВ, С.А. САРАНЦЕВ

Для исследования временной динамики электронной плотности плазмы в поперечном сечении разряда СНВИ на установке «Пион» использовался двухлучевой интерферометр Маха-Цендера с визуализацией интерференционного поля. В качестве источника излучения использовался серийный Nd:YAG лазер мощностью 350 мВт с генерацией на длине волны 532 нм, работающий в непрерывном режиме. Для электронной регистрации изображения интерференционных полос с временным разрешением использовалась электронно-оптическая камера Vifo K008, работающая в режиме щелевой развертки, с передачей зарегистрированного изображения в персональный компьютер для последующей обработки. В экспериментах применялась щель шириной 0,1 мм и высотой ≈ 20 мм. Время полной развертки составляло 6 мкс. Визуализация процессов в разряде осуществлялась при настройке положения щели, соответствующего различным областям разрядного промежутка.

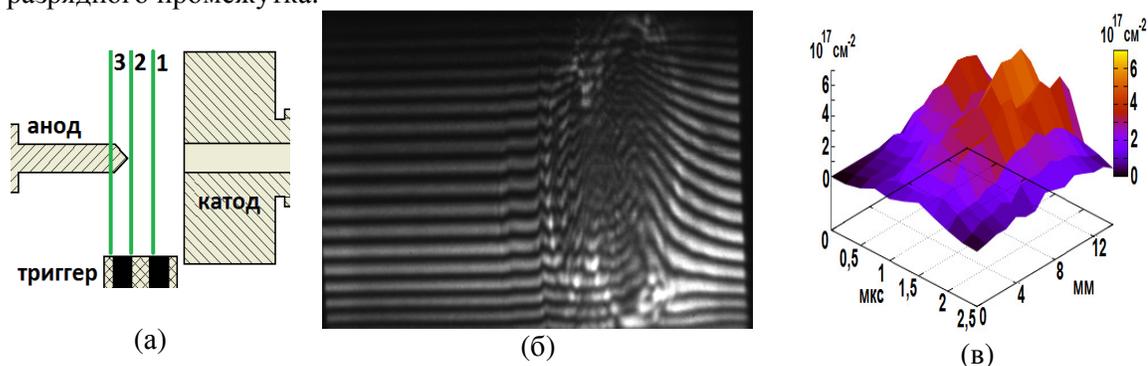


Рис. 1. (а) - исследуемые сечения разрядного промежутка: 1 - середина разрядного промежутка (расстояние между электродами 5 мм), 2 - прианодная область, III - область за анодом (на 2 мм ниже острия анода); (б) – характерная интерферограмма; (в) – результаты расчетов линейной электронной плотности

В работе апробирована методика исследования временной динамики электронной плотности плазмы в поперечном сечении разряда СНВИ. Получены серии интерферограмм для различных напряжений между электродами (5-12,5 кВ) и различных сечений разрядного промежутка.

Проведена обработка интерферограмм и построены гистограммы временной динамики линейной электронной плотности плазмы. Получена оценка линейной плотности плазмы в периферийной области (~ 7 мм от оси электродной системы), достигающая значений $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Сравнение с результатами ранее проведенных экспериментов на установке «Зона-2» [1] показало, что пространственное распределение и динамика поведения во времени имеют схожий характер, а абсолютные величины линейной электронной плотности имеют близкие величины. Наличие столь высокого значения линейной электронной плотности указывает на возможность возникновения шунтирующих токов и уменьшения энерговыклада в основной разряд.

Список литературы:

- [1] А.П. Кузнецов, О.А. Башутин, О.А. Бялковский, Е.Д. Вовченко, К.Е. Коротков, А.С. Савёлов. *Интерферометрические исследования динамики электронной плотности плазмы в периферийной области микропинчового разряда.* // Физика плазмы, 2008, том 34, №3, с. 1-7.

ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УФ – ДИАПАЗОНА СПЕКТРА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ИМПУЛЬСНОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ Z – ПИНЧЕВЫХ РАЗРЯДОВ

И.Ф. РАЕВСКИЙ, С.А. САРАНЦЕВ, Э.И. ДОДУЛАД, А.С. САВЁЛОВ

Для проведения лазерно-интерферометрических исследований в условиях плазменного эксперимента при наличии электромагнитных наводок и засветки от сильно излучающей вблизи длины волны лазерного излучения плазмы разработан ряд мер для ослабления их влияния. На первом этапе была реализована оптическая схема теневого фотографирования при использовании серийного лазера ЛГИ-21 ($\lambda = 337$ нм, $E_{\text{имп}} = 11$ мкДж, $\tau_{FWHM} = 15$ нс) в качестве осветителя. С помощью системы кварцевых линз и интерференционных зеркал система регистрации была удалена от плазменного источника на расстояние ~ 6 м. В плечо построения изображения вводились $2 \div 3$ интерференционных зеркала ($R \sim 100\%$ с углом поворота 90° на $\lambda = 337$ нм). Перед фотоприёмником установлен интерференционный фильтр (ИФ - 337 нм, $FWHM = 6$ нм, $T_{\text{max}} = 40\%$). В фокусе последней линзы перед ИФ установлена диафрагма $\varnothing \approx 1,2$ мм.

В ходе проведения экспериментов был получен набор теневых изображений плазмы разряда для различных моментов времени на осциллограмме тока. Выявлены некоторые закономерности в стабильности формирования плазменной точки (ПТ) в зависимости, как от числа проведенных разрядов, так и от параметров форплазмы иницирующей разряд. Изъятие фильтров прикрывающих матрицу зеркального фотоаппарата Canon EOS 1000D, используемого для регистрации изображений, позволило осуществлять ее непосредственно на матрицу фотоприёмника.

Таким образом, создана работоспособная аппаратура для осуществления теневого фотографирования в УФ-области спектра для интенсивно излучающей плазмы микропинчового разряда (МПР) на установке «ПИОН» при малых уровнях энергии зондирующего излучения. Полученный в процессе работы опыт позволил создать диагностический интерферометр Майкельсона с лазерным осветителем на той же длине волны, но с энергией в импульсе 50 мкДж. Комплекс запланированных работ позволит углубить понимание физических процессов в плазме МПР и подобных систем.

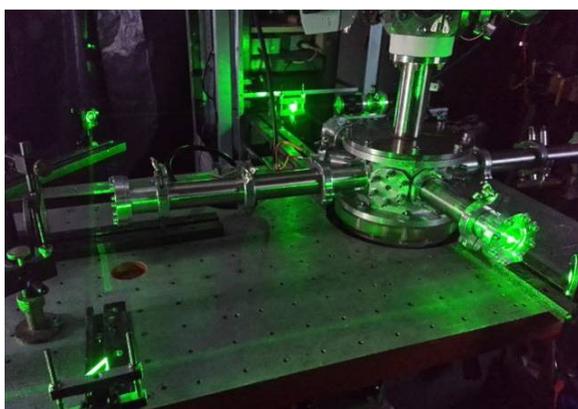


Рис. 1. Внешний вид установки «ПИОН»

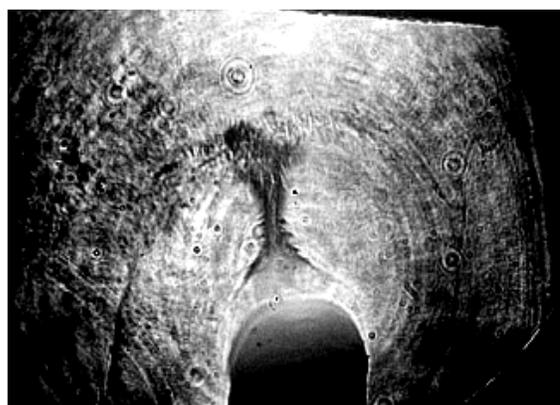


Рис. 2. Образование и разрушение перетяжки

ДИАГНОСТИКА ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРОСКОПИИ ИОННОГО РАССЕЯНИЯ В ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

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

Исследовано влияние напуска различных газов (H_2 , Ar, He, Xe), сопровождающего работу встроенного плазменного источника на установке БММ, на энергетические спектры отраженных и выбитых с поверхности ионов при облучении мишени диагностическими пучками H^+ , Ar^+ . Угол рассеяния при регистрации ионов составлял 16° .

При отражении ионов водорода с энергиями порядка 5-10 кэВ интенсивность сигнала увеличивается по мере роста давления в камере взаимодействия, при больших давлениях в спектре появляется пик, соответствующий однократному рассеянию на атомах газа (см. рис.1). При дальнейшем увеличении давления $\sim 10^{-3}$ Торр интенсивность сигнала отраженных от мишени ионов падает. Приведенные спектры нормированы на ток первичного диагностического пучка, измеряемого с учетом вторичной эмиссии. Проведенная оценка изменения положительной заряженной фракции $\eta+$ при прохождении пучка через газовую мишень показала, что увеличение $\eta+$ происходит за счет дополнительной обдирки на газе отраженных от мишени возбужденных нейтральных атомов водорода [1], сечение ионизации которых на порядок выше.

Интенсивность сигналов отрицательных ионов отдачи, выбитых с поверхности (при облучении ионами Ar^+), падает примерно в 5 раз с ростом давления в камере взаимодействия более чем на 2 порядка (см. рис. 2) в результате захвата отрицательным ионом электрона на остаточном газе, при этом форма спектра не изменяется. Это качественно соответствует работе [2]. Тем не менее, при повышенных давлениях значение соотношения сигнал/шум для пиков упруго выбитых ионов больше в случае измерения отрицательно заряженных ионов, чем положительных.

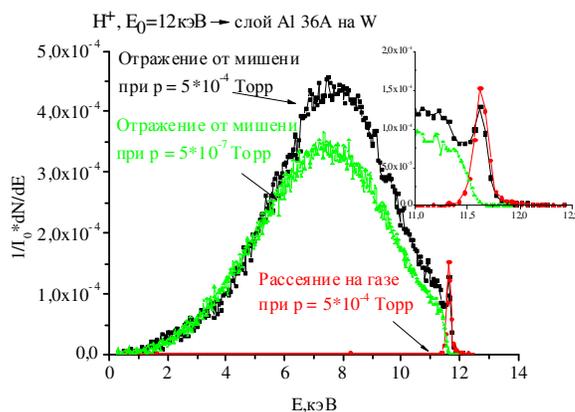


Рис. 1. Энергетические спектры положительных ионов водорода при разных давлениях аргона в камере взаимодействия при облучении протонами с энергией 12 кэВ мишени из вольфрама с нанесенным на него тонким (~ 4 нм) слоем Al

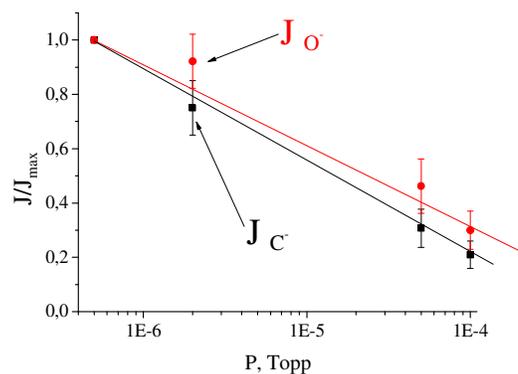


Рис. 2. Интенсивность сигналов выбитых с поверхности отрицательно заряженных ионов углерода и кислорода при облучении ионами Ar^+ с энергией 7,5 кэВ вольфрамовой мишени в зависимости от давления He в камере взаимодействия

Список литературы:

- [1] Н.В. Плешивцев, А.И. Бажин, Физика Воздействия ионных пучков на материалы, Москва, Вузовская книга, 1998.
- [2] Jaemo Im et al. / Nucl. Instr. And Meth. in Phys. Res. B 118 (1996), p. 772-781.

4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ И ЕЁ КОМПОНЕНТОВ С ВЕЩЕСТВОМ

ГАЗИФИЦИРОВАНИЕ И УДАЛЕНИЕ ПЕРЕНАПЫЛЕННЫХ БОР-УГЛЕРОДНЫХ СЛОЁВ

А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, С.В. ВЕРГАЗОВ, А.Н. ВОЙТЮК,
А.А. ГОРДЕЕВ, Я.А. САДОВСКИЙ, В.П. ТЕРЕНТЬЕВ

Известно, что в токамаках с контактирующими с плазмой элементами, выполненными из углеродных материалов, при распылении в конечном итоге образуются углеродные слои, захватывающие большое количество изотопов водорода. В случае применения карбида бора в качестве контактирующего с плазмой материала (например, в качестве защитного покрытия вольфрамовых тайлов дивертора ИТЭР), несмотря на небольшой коэффициент распыления, будут образовываться бор-углеродные слои, которые тоже могут захватывать изотопы водорода. В работе [1] было показано, что удаление перенапыленных углеродных слоев происходит при выдержке их при повышенной температуре в кислородно-озоновой смеси.

Целью данной работы было определение возможности удаления с помощью озона бор-углеродных слоев, которые образуются при распылении карбида бора.

Для получения озона использовался специально разработанный озонатор на барьерном разряде. Озонатор позволяет получить концентрацию озона 1% в кислородно-озоновой смеси при давлении 1 атм.

Для анализа скорости эрозии бор-углеродных пленок использовался рентгеновский энерго-дисперсионный анализ.

Были проведены эксперименты по газификации в кислородно-озоновой смеси бор-углеродной пленки, полученной путем осаждения продуктов распыления карбида бора аргоном и смесью аргона с водородом. Пленки были выдержаны в кислородно-озоновой смеси (концентрация 1 %, давление 1 атм, температура 250°C); скорость эрозии составила величину порядка 0,01 мкм/час. Исходя из анализа состава пленки до выдержки в кислородно-озоновой смеси и после нее, можно сделать вывод, что происходит удаление как углерода, так и бора. Углерод, как и при эрозии углеродной пленки, при реакции с озоном образует СО и СО₂, которые откачиваются. При реакции окисления бора образуется борный ангидрид. За счет того, что в реакционном объеме присутствует вода (в виде остаточного газа; сорбированная на поверхности и растворенная в объеме), возможна реакция борного ангидрида с водой с образованием борной кислоты, которая может переходить в газовую фазу. Таким образом, при выдержке бор-углеродной пленки в озон-кислородной смеси при повышенной температуре происходит ее газификация.

В последующих экспериментах с бор-углеродными пленками предполагается определить влияние наличия водорода в пленке на скорость ее газификации и провести реакцию окисленной пленки с парами спирта, что может ускорить газификацию пленки за счет образования летучего эфира борной кислоты.

Список литературы:

- [1] А.А. Айрапетов, Л.Б. Беграмбеков, М.Л. Дубров, Я.А. Садовский, А.Ф. Скрипицын, Удаление перенапыленных углеродных слоев из щелей первой стенки ТЯР при помощи озона. Годовой отчет по НИР кафедры физики плазмы за 2012 г, с. 28.

ПОВЕДЕНИЕ ВОДОРОДА В ЦИРКОНИЕВОМ СПЛАВЕ Э110 С ХРОМОВЫМ ПОКРЫТИЕМ В ПРОЦЕССЕ ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЯ В ГАЗОВОМ РАЗРЯДЕ

А.Е. ЕВСИН, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.А. ГОРДЕЕВ, А.В. ГРУНИН, А.С. КАПЛЕВСКИЙ

В работе изучались закономерности и механизмы процессов, характеризующих поведение водорода в циркониевом сплаве Э110 (Zr-1%Nb) с осаждаемым на него хромовым покрытием на различных этапах эксперимента по осаждению покрытия: при облучении подложки ионами аргоновой плазмы и в процессе осаждения покрытия.

Предварительное облучение ионами аргоновой плазмы проводилось при следующих параметрах. Давление остаточного газа $P_{\text{ост}}=(1.3\div 40)\times 10^{-3}$ Па, основной компонент остаточного газа – молекулы H_2O (~90%), давление аргона $P_{\text{Ar}}=1.3\times 10^{-1}$ Па. Энергия облучающих ионов $E_i=250$ эВ, плотность потока ионов на образец $j_i=7.5\times 10^{19}$ $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$, доза облучения $\Phi=9\times 10^{22}$ м^{-2} , температура образца $T=530$ К.

Осаждение покрытия проводилось при двух давлениях остаточного газа, $P_{\text{ост}}=4\times 10^{-3}$ Па и $P_{\text{ост}}=1.3\times 10^{-2}$ Па, на образцы, предварительно облученные ионами аргоновой плазмы. В ряде случаев осаждение покрытия проводилось в дейтериево-аргоновой смеси. Давление остаточного газа в этих экспериментах поддерживалось на уровне $P_{\text{ост}}=4\times 10^{-3}$ Па. Давление аргона сохранялось прежним, а давление дейтерия в разных экспериментах составляло $P_{\text{D}_2}=4\times 10^{-3}$ Па и $P_{\text{D}_2}=10^{-2}$ Па. Энергия ионов, облучающих поверхность формирующегося покрытия во время осаждения, не превышала $E_i=20$ эВ. Температура образца в процессе осаждения покрытия составляла $T=520$ К, скорость осаждения покрытия ≈ 0.5 мкм/ч, его толщина ≈ 0.5 мкм.

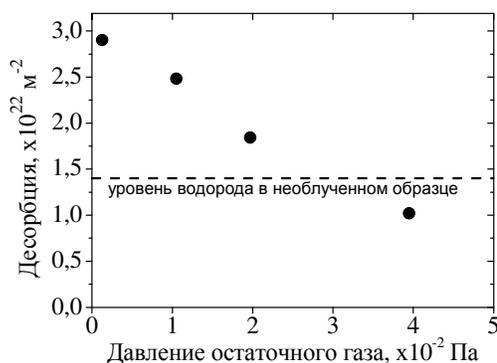


Рис. 1. Зависимость количества атомов водорода в облученном ионами аргоновой плазмы образце сплава Э110 от давления остаточного газа

а захват в хромовое покрытие не изменялся.

Отмечалось явление перехода атомов водорода из глубины циркония в центры захвата в оксидном слое, сопровождающееся понижением температуры десорбции водорода и наблюдающееся при ионном облучении подложки и при осаждении покрытия в низком вакууме. Предположительно данный процесс связан с увеличением концентрации атомов кислорода на поверхности циркония, однако механизм процесса неясен и требует дальнейшего исследования.

Захват атомов водорода при ионной бомбардировке циркония не превышал 1.5×10^{22} м^{-2} атомов, причем с ростом давления остаточного газа в диапазоне $(1.3\div 30)\times 10^{-3}$ Па захват водорода уменьшался (рис.1). Водород после облучения удерживался, как в глубине циркония, так и в дефектах его поверхностного оксидного слоя.

Захват атомов водорода в процессе осаждения хрома, не превышал 2×10^{20} м^{-2} атомов. Обнаружено, что атомы водорода, захваченные при осаждении покрытия, удерживаются преимущественно в цирконии. С ростом давления дейтерия, добавляемого к остаточному газу, захват атомов дейтерия в цирконий увеличивался,

ЗАХВАТ ДЕЙТЕРИЯ ПРИ СООСАЖДЕНИИ С ЛИТИЕМ В МАГНЕТРОННОМ РАЗРЯДЕ

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

В работе исследовалось накопление дейтерия в переосажденных слоях в ходе магнетронного разряда с литиевым катодом. Для экспериментов использовалась экспериментальная установка МР-2 на основе цилиндрического планарного магнетрона постоянного тока, при помощи которой производилось распыление жидко-литиевого катода дейтериевой плазмой с последующим анализом полученных слоёв при помощи термодесорбционной спектроскопии. Важной особенностью установки является возможность анализа напыленных слоёв без контакта с атмосферными газами.

На рис. 1 представлены типичные ТДС спектры литиево-дейтериевой пленки. На спектрах D_2 ($4^{я}$ масса) и HD ($3^{я}$ масса) наблюдаются два ярко выраженных пика с максимумами при 710 К и 850 К. При этом, высокотемпературный пик всегда значительно меньше по амплитуде.

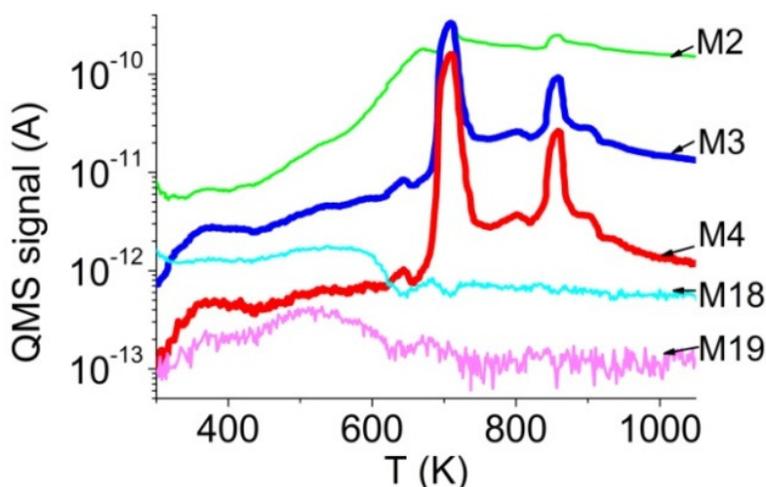


Рис. 1. Типичные ТДС-спектры различных масс для литиево-дейтериевой пленки

Была проведена оценка концентрации дейтерия в пленке. Содержание дейтерия в пленке определялось из термодесорбционных спектров интегрированием. Содержание лития определялось на основе изображения разлома пленки, полученного при помощи растрового электронного микроскопа. Концентрация лития предполагалась равной 4×10^{22} ат/см³, что является средним значением для Li, LiH, LiOH, Li₂CO₃. Оценки показали, что относительное содержание дейтерия в литии составляет 5÷18%.

Сигнал водорода сопровождается значительным фоновым сигналом, однако на нем также можно различить пики при тех же температурах. Согласно оценкам, количество водорода сравнимо с количеством захваченного дейтерия.

Дополнительно был проведен эксперимент с выносом образца на атмосферу на трое суток. Сигнал газовой выделенной всех дейтериевых масс в этом эксперименте был на уровне фона. Кроме того, после извлечения образца из вакуумной камеры на нем были обнаружены остатки литиевой пленки, чего не наблюдалось в экспериментах без выноса на атмосферу. Таким образом, можно сделать вывод, что взаимодействие с атмосферой приводит к образованию новых химических соединений в пленке, в ходе образования которых происходит значительное выделение дейтерия.

СРАВНЕНИЕ ЭРОЗИИ ВНУТРЕННЕЙ СТЕНКИ ТОКАМАКА JET С УГЛЕРОДНОЙ И ИТЭР-ПОДОБНОЙ ПЕРВЫМИ СТЕНКАМИ

С.А. КРАТ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ, М. МАЙЕР¹
¹Институт физики плазмы им. Макса Планка, Гархинг, Германия

Эрозия материалов обращённых к плазме элементов в термоядерных установках – важный вопрос с точки зрения их времени жизни. В 2010 году первая стенка токамака JET (Великобритания) была полностью заменена с «углеродной» на «ИТЭР-подобную», состоящую из бериллиевых и вольфрамовых тайлов. При помощи образцов-вкладышей, установленных в тайлы внутренней стенки токамака между внутренними лимитерами, были проанализированы скорость и распределение эрозии методом обратного Резерфордского рассеяния (ОРР) в кампаниях 2001-2004, 2005-2009 и 2011-2012 годов. В кампании 2011-2012 годов были использованы образцы, покрытые бериллием, и образцы, покрытые вольфрамом.

Распределение скоростей эрозии бериллия и вольфрама в тороидальном и полоидальном направлениях в ходе различных кампаний показано на рисунке 1.

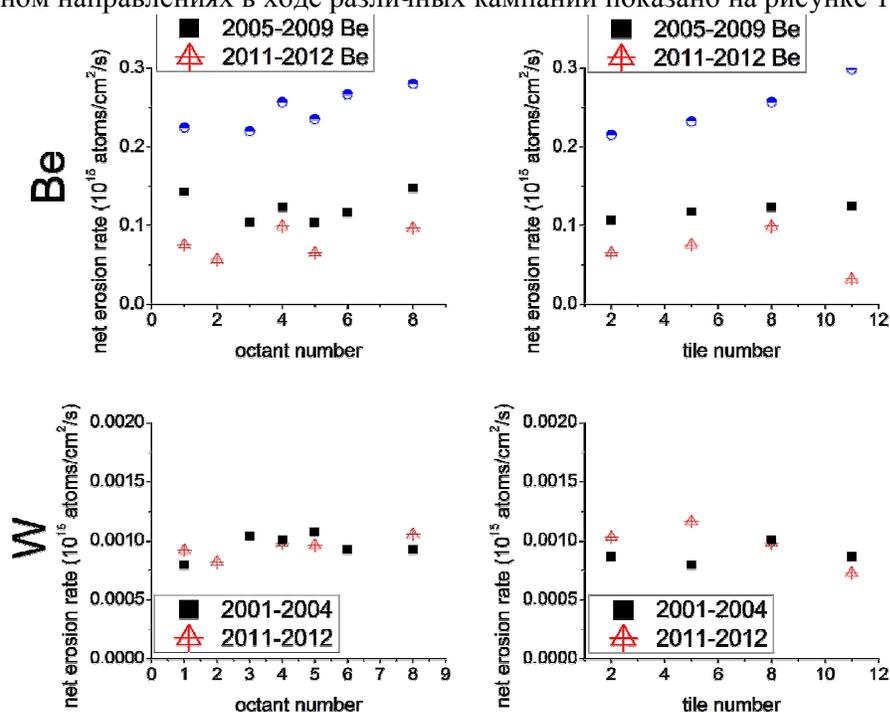


Рис. 1. Распределение скоростей эрозии бериллия (верхний ряд) и вольфрама (нижний ряд) в тороидальном (левый столбец) и полоидальном (правый) направлениях

Скорость и распределение эрозии вольфрама не изменились при переходе к ИТЭР-подобной стенке. Распределение эрозии осталось равномерным.

Скорость эрозии бериллия в 2011-2012 годах была вдвое меньше таковой с углеродной стенкой. Вероятной причиной этого изменения является роль переосаждения бериллия на образцы, чего не могло происходить при использовании углеродной стенки. Скорость эрозии бериллия в кампании с ИТЭР-подобной стенкой по сравнению с эрозией углерода в предыдущих кампаниях в 4,5 раз меньше.

Таким образом, эрозия бериллиевой стенки происходит гораздо медленнее по сравнению с углеродной стенкой, что во многом определяется отсутствием химического расщепления.

УДЕРЖАНИЕ ДЕЙТЕРИЯ В ВОЛЬФРАМЕ С ДОБАВКАМИ КАРБИДА ТИТАНА И КАРБИДА ТАНТАЛА

М.С. ЗИБРОВ, А.А. ПИСАРЕВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, Е.А. МАРКИНА*, М. МАЙЕР*,
L. GAO*, S. ELGETI*, A. MANHARD*, H. KURISHITA**

* Институт физики плазмы им. Макса Планка, Гархинг (Германия)

** Международный исследовательский центр ядерных материалов, Университет Тохоку (Япония)

В работе исследовалось удержание дейтерия в вольфраме с добавкой 1,1 вес.% карбида титана (W-1.1TiC) и вольфраме с добавкой 3,3 вес.% карбида тантала (W-3.3TaC). Данные материалы обладают улучшенными термо-механическими характеристиками по сравнению с чистым вольфрамом, что делает привлекательным их использование в качестве обращенных к плазме материалов. В первой серии экспериментов образцы всех типов облучались ионами дейтерия из плазмы ЭЦР разряда со средней энергией 38 эВ/D при температурах образцов в диапазоне 300 К – 800 К до доз в диапазоне 1×10^{22} D/m² – $1,8 \times 10^{25}$ D/m². Во второй серии экспериментов образцы выдерживались в атмосфере дейтерия в течение 24 часов при давлении 100 кПа и температурах в диапазоне 800 К - 963 К. Удержание дейтерия в материалах исследовалось при помощи метода ядерных реакций (с использованием реакции $D(^3\text{He},p)\alpha$) и термодесорбционной спектроскопии. Поверхность образцов до и после облучения исследовалась на растровом электронном микроскопе.

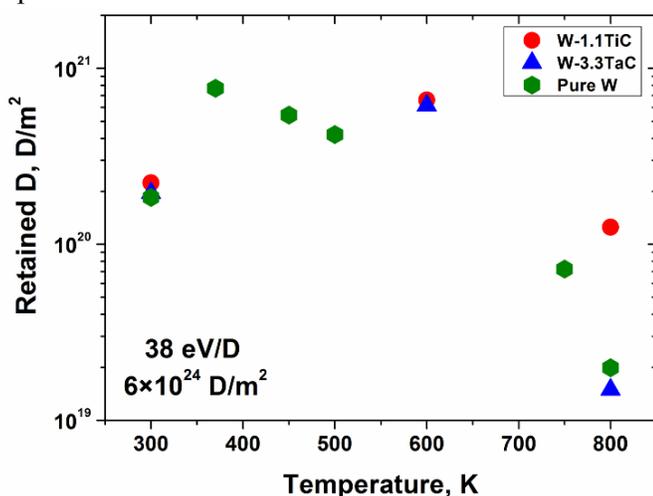


Рис.1. Температурная зависимость удержания дейтерия в W-1.1TiC, W-3.3TaC и чистом вольфраме

При 300 К удержание дейтерия в легированном вольфраме сопоставимо с удержанием в чистом вольфраме, хотя формы ТДС спектров и их эволюция с изменением дозы облучения различаются (рис.1). При 600 К и при наивысшей дозе облучения удержание дейтерия в легированном вольфраме выше, чем в чистом вольфраме. При 800 К удержание дейтерия в W-3.3TaC сопоставимо с удержанием в чистом вольфраме, в то время как в W-1.1TiC оно в несколько раз выше. В случае выдержки образцов в газе при всех использовавшихся

температурах концентрация дейтерия в объеме W-1.1TiC ($\sim 2.5 \times 10^{-4}$ ат. долей) более чем на порядок выше, чем концентрации в W-3.3TaC и чистом вольфраме. Наивысшая концентрация наблюдается в случае выдержки W-1.1TiC при 800 К и примерно на порядок выше, чем концентрация дейтерия в нем в случае облучения при 800 К. Исследование образцов на растровом электронном микроскопе после облучения показало существенные различия в форме и размерах образующихся блистеров между легированным и чистым вольфрамом, облученных в одинаковых условиях.

НАКОПЛЕНИЕ ДЕЙТЕРИЯ В ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНЫХ СТАЛЯХ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ В ПЛАЗМЕ

В.С. ЕФИМОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А. А. ПИСАРЕВ, О.В. ОГОРОДНИКОВА¹,
А.В. СПИЦЫН², А.В. ГОЛУБЕВА², Н.П. БОБЫРЬ²

¹ Институт физики плазмы им. Макса Планка, Гархинг, Германия

² НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Работа посвящена изучению накоплению дейтерия в ферритно-мартенситных (ФМ) сталях при облучении дейтериевой плазмой. В качестве образцов в этой серии экспериментов служили: образцы стали Еврофер, произведенные в научно-исследовательском центре Карлсруэ (Германия) и образцы стали Русфер, произведенные во ВНИИНМ им. Бочвара. Образцы облучались потоком плазмы на различных установках (ПИМ), но с близкими параметрами облучения (100-200 эВ/D). Анализ накопления дейтерия проводился методом термодесорбционной спектроскопии (ТДС) и методом ядерных реакций (МЯР).

На рисунке 1 представлены ТДС-спектры для Русфера, облученного дейтериевой плазмой. Доза облучения варьировалась от 9×10^{19} D/cm² до $1,16 \times 10^{21}$ D/cm². Температура облучения варьировалась от 300 ÷ 640 К. На рисунке 2 представлены интегральные характеристики накопления во всем образце (данные ТДС) и в поверхностном слое шириной 6 мкм (данные МЯР).

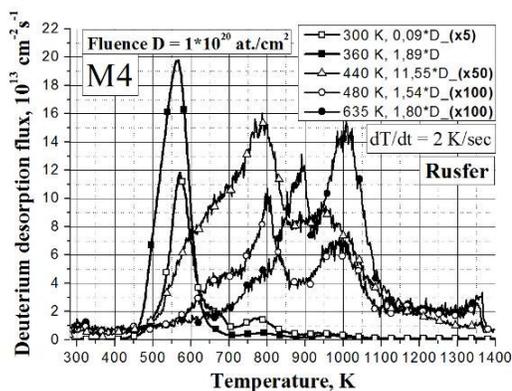


Рис. 1. ТДС-спектры дейтерия из стали типа Русфер, зависимость от дозы и температуры облучения

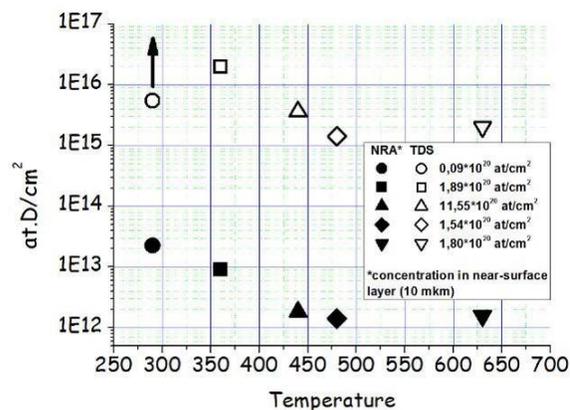


Рис. 2. Зависимость накопления дейтерия от температуры облучения, данные ТДС и МЯР

Можно видеть, что накопление дейтерия происходит преимущественно в объеме образца. При этом накопление дейтерия при температурах свыше 450 К более, чем на порядок ниже по сравнению с облучением вблизи комнатной температуры.

Спектры термодесорбции для образцов, облученных при низких температурах, имеют один доминирующий пик с максимумом при температуре 550-600 К. В высокотемпературной части можно выделить множество пиков, но они становятся заметными при повышенных температурах облучения, когда интегральное накопленное количество дейтерия становится мало.

Таким образом, несмотря на наличие большого количества примесей и разнообразных дефектов в сталях, накопление изотопов водорода в сталях оказывается не большим, особенно при температурах свыше 450К.

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НА ДЕСОРБЦИЮ ДЕЙТЕРИЯ ИЗ СТАЛИ

И.М. ТИМОФЕЕВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ, В.С. ЕФИМОВ

В работе проводилось исследование влияния состояния поверхности ферритно-мартенситной стали Еврофер на десорбцию дейтерия, захваченного материалом в ходе облучения пучком ионов. Эксперименты проводились на установке «МЕДИОН» (кафедра Физики Плазмы, лаборатория медленных ионов). Образцы представляли собой фрагменты ферритно-мартенситной стали размерами $10 \times 10 \times 0,9$ мм. Образцы предварительно отжигались при температуре 873 К (ниже температуры изменения кристаллической решётки Еврофера) в течение 30 минут.

Облучение проводилось ионами D_3^+ с энергией 10 кэВ при температуре 303 К, плотность потока ионов составляла порядка $10^{13} D/cm^2 \cdot s$. В ходе облучения образец нагревался до 315-325 К. После облучения проводилась термодесорбционная спектроскопия (ТДС). Изменение состояния поверхности обеспечивалось выносом в ряде экспериментов перед ТДС образцов на атмосферу. Также перед проведением ТДС образцы различное время выдерживались в вакууме после облучения или после вынесения на атмосферу соответственно (время выдержки 30 минут и 15 часов).

Эксперименты продемонстрировали, что вынос образцов на атмосферу приводит к смещению термодесорбционных пиков в область больших температур, а также приводит к замедлению выхода дейтерия из образца (рис.1).

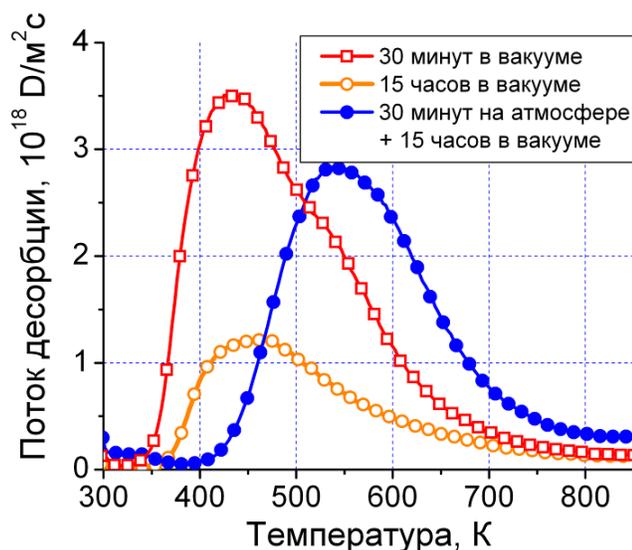


Рис. 1. Сравнение результатов ТДС для трех образцов с разной выдержкой после облучения: 1 – 30 минут в вакууме, 2 – 15 часов в вакууме, 3 – 30 минут на атмосфере и 15 часов в вакууме. Доза облучения для всех образцов – $1,2 \times 10^{18} D/cm^2$.

Подобное поведение можно объяснить образованием поверхностного барьера при контакте с атмосферой. Таким барьером, по всей видимости, является оксид хрома, образующийся на поверхности сталей при контакте с атмосферой. Это явление следует учитывать при анализе термодесорбционных спектров и разработке методики проведения экспериментов со сталями.

ЭРОЗИЯ ВОЛЬФРАМОВОГО МАКЕТА ЭЛЕМЕНТА ПЕРВОЙ СТЕНКИ ТЯР ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗКАХ

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

В проведенных исследованиях определялся характер эрозии вольфрамового образца с предварительным повреждением, имитирующим воздействие срыва, под воздействием умеренных потоков плазмы и циклических температурных нагрузок, соответствующих ЭЛМам малой мощности. Образец был предоставлен ГНЦ РФ ТРИНИТИ, предварительно он был облучен в плазменном ускорителе КСПУ.

Циклическая тепловая нагрузка на образец осуществлялась варьированием мощности электронного пучка в пучково-плазменном разряде в водороде. Ускоряющее напряжение электронной пушки изменялось в диапазоне 1,5 – 7,4 кВ, так что температура поверхности образца, контролируемая термопарой, менялась от 50 до 450 °С. Форма импульсов температуры псевдотреугольная, длительность 10 с, скважность единица, всего было проведено 240 циклов нагрева и охлаждения. Максимальная используемая мощность электронного пучка составляла 2,5 кВт, что давало плотность мощности на поверхности мишени 20 МВт/м².

В результате термоциклирования поверхность в центре образца была расплавлена (рис. 1). Причиной этого расплавления могло послужить локальное расплавление небольшой отслоившейся чешуйки, вызвавшее повышение давления и переход разряда в дуговой режим с концентрацией вблизи оси. При этом вся мощность выделяется на небольшой площади (плотность мощности в пятне достигает 70 МВт/м²).



Рис. 1. Внешний вид вольфрамового образца после термоциклирования

Проведенные расчеты тепловой нагрузки в программе Comsol показали, что температура в пятне в дуговом режиме должна повышаться до 2200 °С, чего недостаточно для расплавления вольфрама. Исследование образца на электронном микроскопе показало рекристаллизацию и появление сети мелких трещин, выкрашивание поверхности образца. Трещины на боковой поверхности образца достигают глубины 2 – 4 мм, рекристаллизация заметна на глубину до 1,5 мм, также хорошо видно выкрашивание по ребрам.

Циклические тепловые нагрузки приводят к растрескиванию, рекристаллизации и интенсивному выкрашиванию материала. Результатом этих изменений становится плавление материала в тех условиях, при которых оно не должно происходить с материалом в исходном состоянии. 240 циклов по 10 секунд с максимумом мощности 20 МВт/м² стало достаточно для рекристаллизации образца на глубину до 1,5 мм и расплавлению части поверхностного слоя. В условиях неповрежденного образца такая нагрузка не должна была приводить даже к рекристаллизации поверхности.

По результатам исследования можно сделать вывод о потере изначальной стойкости вольфрама после срыва, что приводит к разрушению материала даже в относительно щадящих условиях.

СУБМИКРОННАЯ СТРУКТУРА НА ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ СИЛЬНОТОЧНОЙ НИЗКОИНДУКТИВНОЙ ВАКУУМНОЙ ИСКРЫ (СНВИ)

С.А. САРАНЦЕВ

В работе впервые обнаружена периодическая субмикронная структура с размерами зерен 150 - 600 нм на поверхности электродов СНВИ. Данная структура формировалась в областях электродов, подверженных прямому взаимодействию с потоками плазмы, и, согласно полученным данным, влияет на воспроизводимость динамики плазмы в последующем разряде. Данная структура имеет сильное сходство с нанокompозитными структурами, возникающими на поверхности образцов, подвергнутых обработке импульсными концентрированными потоками энергии [1]. При определенных условиях такая обработка способна изменять микроструктуру и фазовый состав поверхностного слоя материалов и изделий и, тем самым, улучшать их функциональные эксплуатационные характеристики. При этом фазовые и структурные превращения в поверхностном слое протекают в условиях, далеких от равновесия. Необходимым условием формирования микроструктуры является высокая ($\geq 10^6$ К/с) скорость охлаждения расплавленного слоя [2], что, по всей видимости, реализуется в СНВИ.

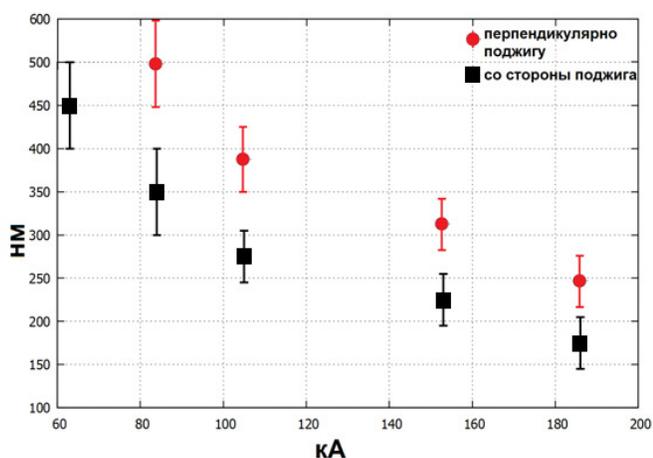
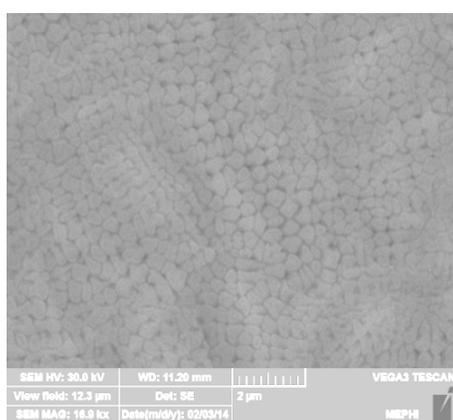


Рис. 1. Размер структурных образований на поверхности катода в зависимости от разрядного тока

Обнаружено, что в условиях со стабильным протеканием процесса микропинчевания структурные ячейки на катоде имеют меньший размер, чем для случая отсутствия микропинча (150 нм и 600 нм соответственно). Кроме этого, установлено, что с ростом разрядного тока (от 65 до 186 кА) размеры структурных образований на катоде уменьшаются более чем в 2 раза. На аноде заметного изменения размеров структурных образований с ростом разрядного тока не обнаружено (их размеры ~ 400 нм), можно лишь отметить, что структура становится более выраженной.

Список литературы:

- [1] Карпов Д.А., Литуновский В.Н. Нетрадиционные технологии модификации поверхностных свойств материалов концентрированными потоками энергии // Обзор О-105 СПб: ФГУП «НИИЭФА им. Ефремова», 2012, 27 с.
- [2] Люборский Ф.Е., Дэвис Х.А., Либерман Х.Х. Аморфные металлические сплавы, М.: Металлургия, 1987, 582 с.

5. ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА МОДЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА СТЕНКИ ТЯР С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛЕНКОЙ

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

Разработана методика *in situ* измерения эмиссионных свойств катода с тонкой диэлектрической пленкой на поверхности при контроле ее толщины и состава, а также при изменении ее толщины. Эксперименты проводились на установке Большой Масс-Монохроматор МИФИ (БММ), позволяющей с помощью энергоанализатора определять толщину тонких поверхностных пленок в диапазоне от 5 до 60 Å (рис.1), а также проводить элементный анализ поверхности по упруго выбитым и рассеянным положительным и отрицательным ионам непосредственно в процессе травления. Для измерения вольт-амперных характеристик мишеней из обращенных к плазме материалов под действием электрических полей, характерных для дебаевского слоя на границе плазмы с поверхностью плазмы, изготовлен миниатюрный анод, что позволяло расположить его так, чтобы расстояния до краев катода было значительно больше вакуумного промежутка. Вакуумный промежуток был подобран таким образом, чтобы, с одной стороны, была возможность создавать достаточно сильные поля между катодом и анодом при напряжениях, не достаточных для возникновения паразитных разрядов между анодом и другими частями камеры, а с другой стороны, этот промежуток должен быть достаточно большим, чтобы отраженный ионный пучок мог проходить в энергоанализатор. Мишень представляла собой кремниевую подложку, на которую методом электронно-лучевого испарения осаждался слой вольфрама толщиной ~150 Å, а затем слой алюминия толщиной ~30 Å. После экспозиции образца на атмосферу пленка алюминия полностью окислялась, переходя в диэлектрическую пленку Al₂O₃.

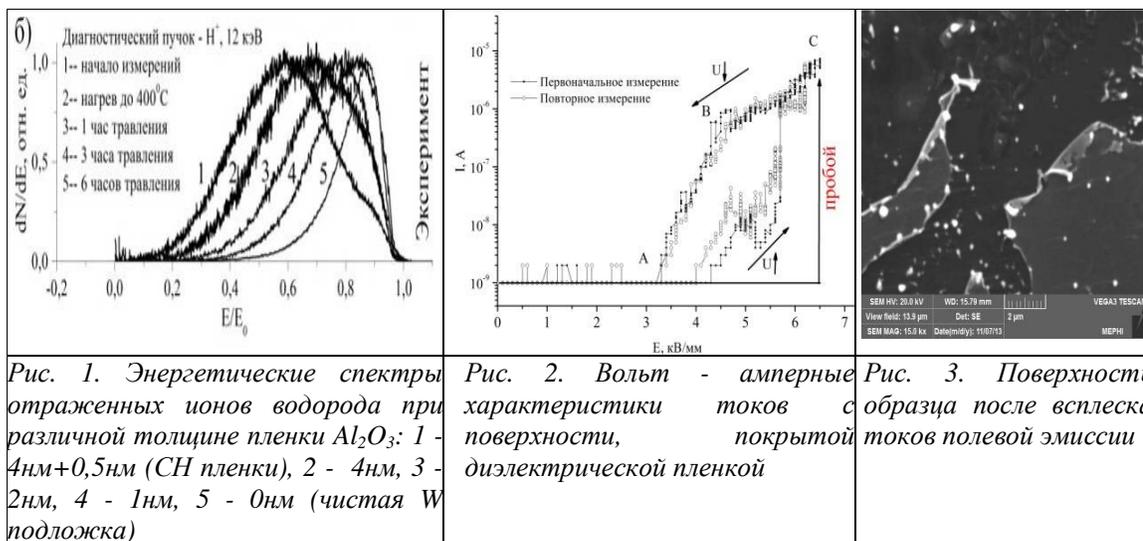


Рис. 1. Энергетические спектры отраженных ионов водорода при различной толщине пленки Al₂O₃: 1 - 4нм+0,5нм (СН пленки), 2 - 4нм, 3 - 2нм, 4 - 1нм, 5 - 0нм (чистая W подложка)

Рис. 2. Вольт - амперные характеристики токов с поверхности, покрытой диэлектрической пленкой

Рис. 3. Поверхность образца после всплеска токов полевой эмиссии

Показано, что наблюдаемые токи эмиссии (рис.2) появлялись только после пробоя диэлектрической пленки, после которого пленка стала «островковой» (рис.3). ВАХ измеренных токов были интерпретированы согласно модели «включения». Измерение на сканирующем электронном микроскопе показало, что коэффициент вторичной электрон-электронной эмиссии с краев «островков» пленки в пять раз выше, чем с основной поверхности. Таким образом, токи полевой эмиссии даже с макроскопически гладкой поверхности с участками тонкой диэлектрической пленки на ней, могут быть сравнимы с токами, имитируемыми из образцов с развитым рельефом типа нано «пуха» на вольфраме.

ПЛАЗМЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ПОРИСТОГО УГЛЕРОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЕМКОСТИ ЭЛЕКТРОДА СУПЕРКОНДЕНСАТОРА

Г.М. ТАРАСЮК, А.А. ПИСАРЕВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО

Электроды суперконденсаторов изготавливаются из различных материалов с развитой поверхностью. В промышленности, однако, основными материалами электродов остаются различные сорта угольных материалов с высокой долей нанопор. Целью данной работы являлось повышение емкости наноструктурированных угольных электродов путем их обработки в плазме.

В качестве исходного электродного материала использовался промышленный материал производства Norit DLS Supra 30, из которого изготавливаются электроды наборных суперконденсаторов. Материал представляет из себя ленту, состоящую из смеси активированного угля, электропроводящего наполнителя и полимерного связующего. Этот материал подвергался обработке в азотной плазме тлеющего разряда в различных режимах.

Для изучения влияния плазменной обработки были созданы экспериментальные тестовые ячейки суперконденсаторов. Для ячейки использовались два круглых электрода диаметром 2 см, которые разделялись пористым сепаратором диаметром 3 см. Большой размер сепаратора необходим для минимизации токов утечки по краям. Вся сборка зажималась между двумя массивными металлическими токосъемниками. Перед сборкой электроды и сепаратор пропитывались электролитом, для чего они погружались на 10 минут в ультразвуковую ванну с 30% раствором КОН. Плоский конденсатор, состоящий из двух токосъемников, двух электродов и сепаратора сжимался прессом с регулируемой нагрузкой 0,2-2т. После этого к токосъемникам подавалось изменяющееся во времени напряжение и измерялась зависимость напряжения и тока тестовой сборки элементарной ячейки от времени. Полученные результаты были преобразованы в зависимость емкости от напряжения. Испытания исходного электродного материала и материала, обработанного в плазме в различных условиях, проводились при различных усилиях сжатия сборки, различных скоростях увеличения и уменьшения напряжения на ячейке. Проводились также испытания на саморазряд суперконденсатора.

Измерения показали, что обработка угольных электродов в азотной плазме тлеющего разряда привела к увеличению емкости элементарной сборки с щелочным электролитом. Емкость была увеличена вдвое в области средних напряжений и в полтора раза в области рабочего напряжения.

Можно предположить различные механизмы увеличения емкости после плазменной обработки. Одним из них является увеличение смачиваемости поверхности пористой системы. Были проведены эксперименты по смачиваемости поверхности электродного материала до и после плазменной обработки. Для этого электрод помещался на столик оптического стереомикроскопа и на его поверхность наносилась капля электролита. На исходном материале капля имела сферическую форму, что свидетельствовало о плохой смачиваемости. На поверхности обработанного в плазме электролита капля мгновенно растекалась по поверхности, что свидетельствовало о хорошей смачиваемости поверхности. Через всю толщину электрода (0,5 мм) электролит, однако, не проникал. Можно сделать вывод, что увеличение емкости электрода обусловлено увеличением площади контакта электролита с электродом за счет более хорошей смачиваемости поверхности пор. Этот эффект, однако, ограничен сравнительно небольшой толщиной приповерхностного слоя пористого электрода (открытого для воздействия плазмы), а воздействие плазмы на более глубокие (затененные) слои было незначительным. Тем не менее, даже такое воздействие приводит к увеличению емкости на 50-100%. Можно предположить, что использование плазмы, способной проникать более глубоко в пористый угольный электрод, даст еще больший эффект.

6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПРИБОРЫ

ТЕПЛОВЫЕ НАГРУЗКИ КАМЕР ПЛАЗМЕННОГО ФОКУСА

П.П. СИДОРОВ

В работе проведен анализ прохождения тока в электродах камер плазменного фокуса (ПФ) с учётом скин-эффекта, рассмотрены тепловые нагрузки на электроды эллиптической формы камеры ПФ при взаимодействии с токовоплазменной оболочкой (ТПО), рассчитанной в рамках двумерной идеальной МГД. Проведено сравнение нагрева электродов камеры плазменного фокуса током разряда (объёмный источник нагрева) и плазмой (поверхностный источник нагрева), и показано, что последний источник нагрева на порядок больше.

Для расчёта тепловых нагрузок на элементы камер ПФ использовались программы В.В. Вихрева [1], находящиеся в открытом доступе, (одно из последних обновлений программы было в 2011 году) и программы теплового модуля COMSOL, написанные для решения уравнения теплопроводности.

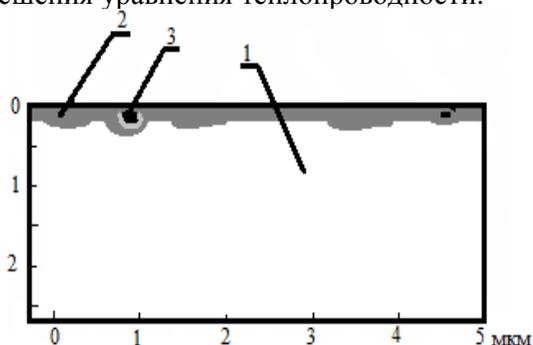


Рис.1. Результаты нагрева поверхностного слоя анода камеры ПФ из меди при взаимодействии с ТПО (амплитудное значение теплового потока $7 \cdot 10^{11} \text{ Вт/м}^2$): 1-твёрдое тело; 2 - жидкая медь; 3 - пары меди на глубине $\sim 0.3 \text{ мкм}$

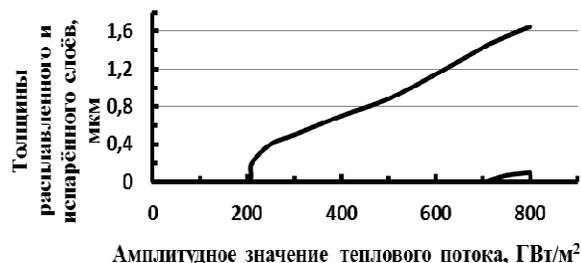


Рис.2. Толщины расплавленного и испарённого слоёв на поверхности анода в зависимости от амплитудного значения потока тепла из ТПО

Процессы разогрева поверхности тепловым потоком из плазмы (поверхностного источника нагрева) и током контура (объёмного источника нагрева) протекают в разных временных и температурных диапазонах. После быстрого разогрева, приблизительно за 10^{-7} секунды, некоторого участка поверхности с помощью ТПО следует дополнительный нагрев поверхности электродов разрядным током в течение нескольких микросекунд. Разогрев поверхности с помощью ТПО сопровождается возникновением зон неравномерного прогрева, плавлением тонких приповерхностных слоёв материала толщиной $\sim 1 \text{ мкм}$ и испарением слоёв $\sim 0,3-0,4 \text{ мкм}$. Величина дополнительного нагрева анода от объёмного источника тепла составляет от 2 до 32 К. Общее количество энергии, получаемое электродами при взаимодействии с плазмой на порядок больше тепла, выделившегося в материале анода из-за прохождения по нему разрядного тока. Результаты решения уравнения диффузии магнитного поля в проводник полезны и могут быть использованы для расчёта механических нагрузок на электроды камер ПФ.

Список литературы:

- [1] Vkhrev V. V, Ivanov V. V, Rozanova C. A. On generation of magnetic fields in active star atmospheres. Nuclear Fusion, Physics Letters I, препринт ИАЭ.1980.

УСТАНОВКА АТР (АНОМАЛЬНЫЙ ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД) ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю.В. БОРИСЮК, Н.М. ОРЕШНИКОВА, А.А. ПИСАРЕВ, С.А. РЯБЦЕВ,
Г.В. ХОДАЧЕНКО

Для исследования влияния аномального тлеющего разряда на модификацию поверхности металлов и сплавов с целью ее упрочнения и защиты от агрессивных сред создана установка АТР. Она включает в себя вакуумный объем с разрядным устройством и датчиками измерения давления, двухканальную систему откачки, блок управления параметрами откачки и измерения давления, систему напуска рабочих газов, импульсный источник питания разряда, систему измерения разрядного напряжения и тока, блок измерения температуры образца. В зависимости от решаемых экспериментальных задач установка оснащалась системой газоанализа, устройством косвенного нагрева образцов, устройством бесконтактного измерения температуры образцов, устройством зондовой диагностики, системой эмиссионной спектроскопической диагностики.

На установке были проведены эксперименты по азотированию деталей различной геометрической формы из сталей 30ХГСА, 30ХН2МФА, образцов из титанового сплава ВТ17. Также изучалось влияние аномального тлеющего разряда при различных температурных режимах на образцы из алюминиевых сплавов В95 и Д16Т с разной шероховатостью поверхности. В результате экспериментов со стальными трубками с аспектным отношением 10-25 была показана возможность обработки внутренней поверхности. Твердость стальных образцов после обработки составила 700-800НВ, что в 3-4 раза превышает твердость сердцевины. Твердость образцов из титанового сплава ВТ17 после обработки увеличилась в 2-3 раза по сравнению с сердцевиной и составила 500-600НВ. Из обработанных образцов изготавливались поперечные шлифы и исследовались на растровом электронном микроскопе. На рис. 1 показана фотография поверхности и шлифа алюминиевого сплава В95, обработанного в азотно-аргоновой плазме один час при температуре 500-550 градусов Цельсия. Наблюдается сильное изменение рельефа поверхности. Отчетливо видны границы зерен. Анализ ЭДС спектров показал, что концентрация примесей (Mg, Mn, Cu) на поверхности возросла в 3-5 раз по сравнению с необработанным образцом. Также замечена диффузия примесей к границам зерен. На поверхности наряду с кислородом и элементами сплава обнаружен азот. Твердость поверхности составила 1400 НВ.

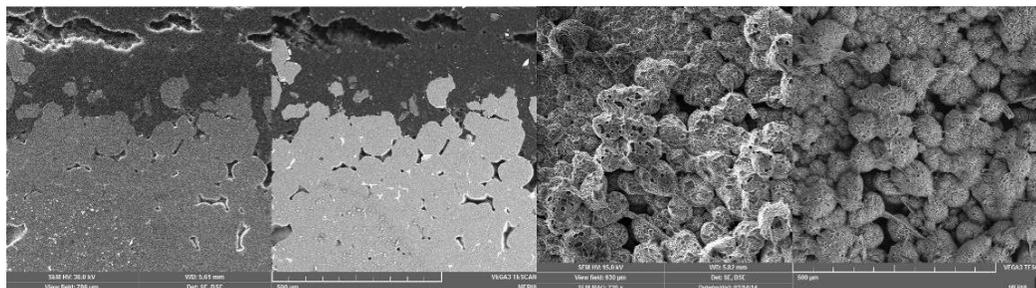


Рис. 1. Фотография шлифа и поверхности алюминиевого сплава В-95

В результате проведенной работы было показано, что с помощью созданной установки можно обрабатывать образцы в аномальном тлеющем разряде при различных температурных режимах, одновременно проводя различные виды диагностики.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭМИТТАНСА ИСТОЧНИКОВ ИОНОВ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Д.В. КОЛОДКО, Н.В. МАМЕДОВ, И.В. ВИЗГАЛОВ,
Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, В.А. КУРНАЕВ

Создана высоковакуумная установка для измерения эмиттанса ионных пучков из малогабаритных плазменных источников (низкого давления), схема которой представлена на рис. 1. Источник смонтирован («вставлен в распор») по центру камеры с помощью фторопластовых колец. На расстоянии 5 мм от выходного отверстия пушки была установлена на подвижном прецизионном вводе пластинка с круглой диафрагмой диаметром 1,6 мм. На расстоянии 50 мм от пластинки на таком же подвижном вводе установлен измерительный прямоугольный зонд 2,5x3 мм². В качестве блока питания разряда использован блок питания магниторазрядного насоса БП-138 с регулировкой выходного напряжения от 0 до 7 кВ и максимальной мощностью 1.4 кВт и падающей характеристикой. Катод и анод источника «оторваны» от земли и помещены под положительный потенциал относительно корпуса установки.

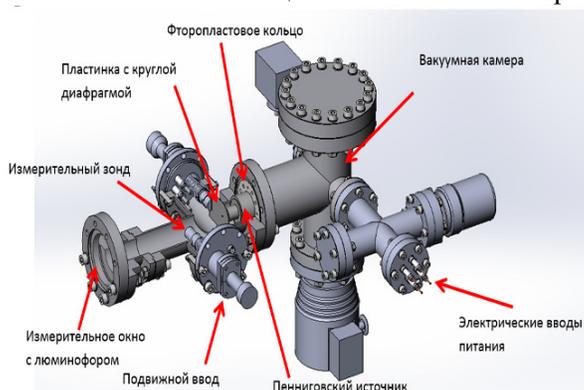


Рис. 1. Схема высоковакуумного стенда для измерения эмиттанса ионных пучков из малогабаритных плазменных источников (низкого давления)

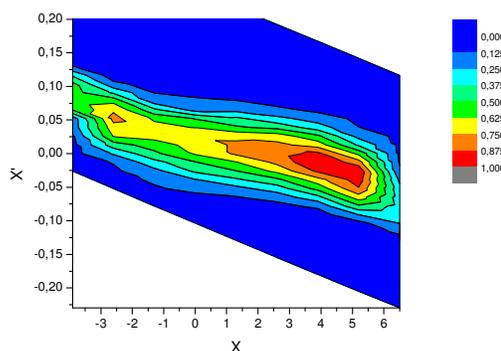


Рис. 2. Диаграммы эмиттанса источника при ускоряющем напряжении 1кВ. (Относительную интенсивность получаем нормированием тока на единицу, поделив все значения на максимальный ток на зонд)

На основании измеренных распределений тока ионного пучка при различных положениях круглой диафрагмы строились диаграммы эмиттанса для каждого значения ускоряющего напряжения. На рис. 2 показан пример диаграммы эмиттанса пеннинговского источника (давление $\sim 5 \cdot 10^{-4}$ Торр, напряжение разряда 0,8 кВ, ток разряда 0,6 мА, газ – водород, ускоряющее напряжение $U_{\text{уск}}=1\text{кВ}$), построенной при помощи программы OriginPro 8.6. Неровности в диаграммах эмиттанса объясняются тем, что применялся встроенный в программу алгоритм преобразовании сеток данных в контуры. Из рис. 2. видно, что величина интенсивности рассчитывается как линейная зависимость по направлению линий между узлами сетки. Приведенная диаграмма показывает, что при данном ускоряющем напряжении ионный пучок – аксиально-симметричный.

Также эксперименты выявили зависимость формы эмиссионного мениска и начальной расходимости пучка от прикладываемого ускоряющего напряжения для данного источника ионов. Полученные диаграммы эмиттанса будут использованы при компьютерном моделировании источников с целью оптимизации их работы.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИОННО-ПУЧКОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММ ОБЛУЧЕНИЯ

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

В работе представлено описание системы автоматизации установки «Большой масс-монохроматор МИФИ» с дуоплазматроном в качестве ионного источника и выносным четвертьсферическим энергоанализатором отраженных и выбитых из мишени ионов. Компьютерное управление осуществлено с использованием АЦП-ЦАП модулей фирмы ICP DAS и National Instruments (24-х битных скоростных модулей аналогового ввода I-7017F; 12-ти битных модулей аналогового вывода I-7024; преобразователей протокола RS232 в RS485 I-7520 и USB-устройств сбора и передачи данных NI USB – 6009).

Система состоит из двух основных блоков контроллеров (см. рис. 1):

- блока управления (выделен на рисунке пунктиром), который осуществляет изменение параметров накала катода, разряда в дуоплазматроне и напуск рабочего газа через ИК-порт, поскольку корпус ионного источника находится под высоким напряжением;
- блока управления ускоряющим напряжением, фокусирующими линзами, магнитным полем сепарирующего магнита, напряжением на обкладках энергоанализатора. Данный блок также осуществляет измерение экспериментальных данных и обеспечивает стабилизацию ионного тока и мониторинг формы ионного пучка на входе в камеру взаимодействия.

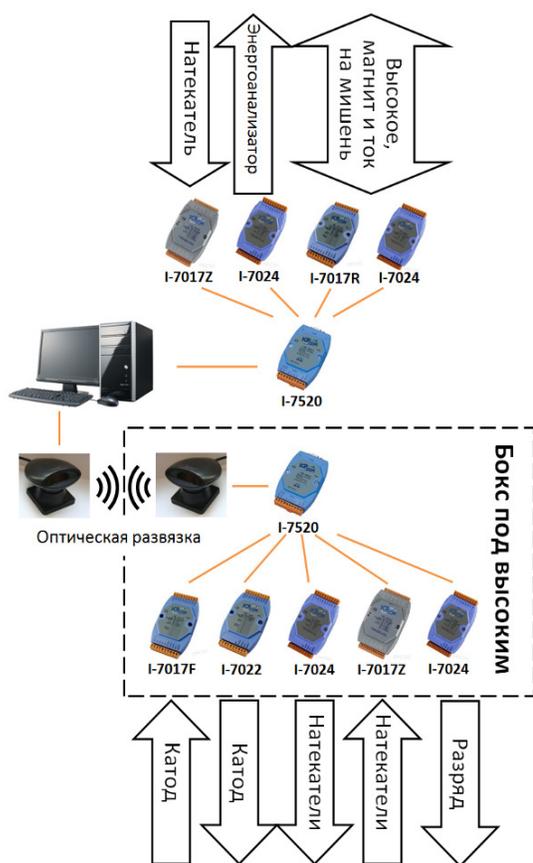


Рис. 1. Схема автоматизации установки «Большой масс-монохроматор МИФИ»

Программное обеспечение автоматизированной системы управления установкой «БММ МИФИ» создано в среде Labview 8.6, основанной на графическом языке программирования «G» фирмы National Instruments (США).

Применение новых цифровых блоков питания позволило автоматизировать процесс управления ионным пучком и проводить программируемое изменение параметров разряда и накала катода, настраивать фокусирующую систему и систему отклонения ионного пучка, а также синхронизовать работу плазменного источника с диагностическим пучком, что дало возможность проводить ионно-пучковые эксперименты по заранее разработанным программам облучения. Например, с чередующимся в процессе эксперимента облучением мишени ионами инертных газов и водорода. Автоматизированная система измерения дала возможность получать зарядовое и энергетическое распределение отраженного от поверхности твердого тела ионного пучка достаточно быстро. Для локализации одного пика в энергетических спектрах ионов отдачи и однократно отраженных от твердого тела ионов гелия необходимо не более 20с.

ПЕРЕЧЕНЬ ТРУДОВ СОТРУДНИКОВ КАФЕДРЫ ЗА 2013 ГОД

Международные журналы:

1. S. Krat, Yu. Gasparyan, V. Efimov, A. Mednikov, M. Zibrov, A. Pisarev. Deuterium retention in mixed C–W–D films co-deposited in magnetron discharge in deuterium. *Journal of Nuclear Materials* 438 (2013) 204–208.
2. K.A. Moshkunov, V.P. Smirnov, D.K. Kogut, N.N. Trifonov, V.A. Kurnaev. Numerical study of the target material and geometry influence on the uranium deposition. *Journal of nuclear materials*, 433 (2013) 455–459.
3. D.K. Kogut, N.N. Trifonov, V.A. Kurnaev. Modeling of the first mirror surface composition under ITER relevant particle irradiation. *Journal of Nuclear Materials*, 438 (2013) S731–S734.
4. L. Begrambekov, V. Barsuk, M. Dubrov, A. Kaplevsky, N. Klimov, D. Kovalenko, A. Kuzmin, A. Mischenko, V. Podkovyrov, P. Shigin, A. Zhitlukhin, A. Zakharov. Deuterium trapping in carbon films formed in different deposition conditions. *Journal of Nuclear Materials*, 438 (2013) S971–S974.
5. A. Pisarev, K. Moshkunov, I. Vizgalov, Yu. Gasparyan. Deuterium trapping in liquid lithium irradiated by deuterium plasma. *Journal of Nuclear Materials* 438 (2013) S1076–S1078.
6. D.N. Sinelnikov, V.A. Kurnaev, N.V. Mamedov, A.P. Popov. Emission of Negative Ions From Surfaces With High Emissivity. *IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE*, VOL. 41, NO. 8, AUGUST 2013.
7. A.V. Golubeva, N.P. Bobyr, D.I. Cherkez, A.V. Spitsyn, M. Mayer, Yu.M. Gasparyan, V.S. Efimov, V.M. Chernov, M.V. Leontieva-Smirnova. Hydrogen interaction with the low activation ferritic–martensitic steel EK-181 (Rusfer). *Journal of Nuclear Materials* 438 (2013) S983–S987.
8. S. Krat, J.P. Coad, Yu. Gasparyan, A. Hakola, J. Likonen, M. Mayer, A. Pisarev, A. Widdowson, JET-EFDA contributors. Erosion and deposition on JET divertor and limiter tiles during the experimental campaigns 2005–2009. *Journal of Nuclear Materials* 438 (2013) S742–S745.
9. M. Mayer, S. Krat, J.P. Coad, A. Hakola, J. Likonen, S. Lindig, A. Widdowson, JET-EFDA Contributors. Erosion at the inner wall of JET during the discharge campaigns 2001–2009. *Journal of Nuclear Materials*, 438 (2013) S780–S783.
10. A. A. Stepanenko, S. I. Krashennnikov. On the theory of dynamics of dust grain in plasma. *PHYSICS OF PLASMAS* 20, 033702 (2013).
11. V. Kurnaev, O. Afonin, A. Antipenkov, N. Koborov, T. Mukhammadzyanov, V. Ochkin, R. Pearce, E. Pleshkov, F. Podolyako, I. Sorokin, V. Urusov, I. Vizgalov, G. Voronov, K. Vukolov, L. Worh, L-2M team. Spectroscopic localization of water leaks in iter. *Fusion Engineering and Design*. v.88, Is.6-8, 2013, p.1414-1417.
12. L. Begrambekov, A. Ayrapetov, V. Ermakov, A. Kaplevsky, Ya. Sadovsky, P. Shigin. Hydrogen and oxygen trapping and retention in stainless steel and graphite materials irradiated in plasma. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 315C (2013) S110–S116.
13. P. Dalin, M. Connors, I. Schofield, A. Dubietis, N. Pertsev, V. Perminov, M. Zalcik, A. Zadorozhny, T. McEwan, I. McEachran, J. Grønne, O. Hansen, H. Andersen, S. Frandsen, D. Melnikov, V. Romejko, I. Grigoryeva. First common volume ground-based and space measurements of the mesospheric undular bore in noctilucent clouds. *Geophysical Research Letters*, 2013, 40, c. 6399-6404.
14. Yu. Akishev, G. Aponin, A. Balakirev, M. Grushin, V. Karalnik, A. Petryakov and N. Trushkin, DBD surface streamer expansion described using nonlinear diffusion of the electric potential over the barrier. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 46 (2013) 464014.

Отечественные журналы:

1. Воронов Г.С., Бережецкий М.С., Бондарь Ю.И., Вафин И.Ю., Васильков Д.Г., Воронова Е.В., Гребеншиков С.Е., Гришина И.А., Ларионова Н.Ф., Летунов А.А., Логвиненко В.П., Мещеряков А.И., Пleshkov Е.И., Хольнов Ю.В., Федянин О.И., Цыганков В.А., Щепетов С.В., Курнаев В.А., Визгалов И.В., Урусов В.А. и др. Испытание на стеллараторе Л-2М метода обнаружения микротечи воды в реакторе ИТЭР по спектральным линиям гидроксила OH. *Физика плазмы*. 2013. Т. 39. № 4. С. 313.
(Voronov G.S., Berezhetskii M.S., Bondar' Y.F., Vafin I.Y., Vasil'kov D.G., Voronova E.V., Grebenschikov S.E., Grishina I.A., Larionova N.F., Letunov A.A., Logvinenko V.P., Meshcheryakov A.I., Pleshkov E.I., Khol'nov Y.V., Fedyanin O.I., Tsygankov V.A., Shchepetov S.V., Kurnaev V.A., Vizgalov I.V., Urusov V.A., Sorokin I.A., Podolyako F.S., Antipenkov A., Pearce

- R., Worth, L. Testing of the method for water microleakage detection from OH hydroxyl spectral lines at the L-2M stellarator. *Plasma Physics Reports*. Volume 39, Issue 4, April 2013, Pages 277-288.)
2. В.С. Ефимов, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев. Исследование тонкой структуры спектров термодесорбции дейтерия из вольфрама. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2013, № 5, с. 79–85
(V. S. Efimov, Yu. M. Gasparyan, and A. A. Pisarev. Study of the Fine Structure of the Spectra of Deuterium Thermal Desorption from Tungsten. *Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2013, Vol. 7, No. 3, pp. 472–478)
 3. Е.Д. Маренков, Р.Д. Смирнов, С.И. Крашенинников. О ДЕСОРБЦИИ ГАЗА ИЗ ПЕРВОЙ СТЕНКИ ТОКАМАКОВ ВО ВРЕМЯ ЭЛМОВ. ФИЗИКА ПЛАЗМЫ, 2013, том 39, № 11, с. 971.
 4. Д.Н. Синельников, А.И. Маркин, В.А. Курнаев, В.Е. Черковец, Н.И. Сыромятников. Визуализация центров эмиссии заряженных частиц при холодной низкополевой эмиссии. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА И ИНЖИНИРИНГ, 2013, том 4, № 7, с. 631–635.
 5. Н.В. Мамедов, В.А. Курнаев, И.В. Визгалов, Д.Н. Синельников. Встраиваемый малогабаритный источник плазмы для исследования in situ ее взаимодействия с поверхностью. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА И ИНЖИНИРИНГ, 2013, том 4, № 5, с. 436–442.
 6. Э.И. Додулад, М.А. Алхимова, О.А. Башутин, Е.Д. Вовченко, С.А. Саранцев, А.С. Савёлов. Влияние электродной системы на излучательные характеристики вакуумной искры. Физика плазмы - 2013, том 39, №11, стр. 1006.
(O.A. Bashutin, M.A. Alkhimova, E.D. Vovchenko, E.I. Dodulad, A.S. Savjolov, S.A. Sarantsev. Influence of the electrode system on the emission characteristics of a vacuum spark. *Plasma Physics reports* - 2013, v.39, №11, стр. 900 – 909).
 7. Кирко Д.Л., Савелов А.С., Визгалов И.В. КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПЛАЗМЕ РАЗРЯДА В ЭЛЕКТРОЛИТЕ. Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 55. № 11. С. 3-6.
(D.L. Kirko, A.S. Savelov, I.V. Vizgalov / Oscillatory processes in discharge plasma in an electrolyte / *Russian Physics Journal*, 2013, Vol. 55, № 11, P.1243-1247.)
 8. Жданов В.М., Ролдугин В.И., Шерышева Е.Е. Разделение газовой смеси в наноразмерных капиллярах. Роль поверхностной диффузии. Инженерно-физический журнал, т. 86, № 2, с.338-343 (2013).
(Zhdanov V. M., Roldugin V. I., Sherysheva E. E. Separation of a gaseous mixture in nanosize channels. The role of surface diffusion // *J. Eng. Phys. Thermophys.* 2013. V. 86. № 2. P. 356–362.)
 9. Зибров М.С., Писарев А.А., Ходаченко Г.В., Мозгрин Д.В. Создание тонких защитных углеродных покрытий на алюминии. Успехи прикладной физики, 2013, том 1, № 2 с 167.
 10. 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. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2013. № 12. С. 45.
(M. S. Zibrov, G. V. Khodachenko, A. V. Tumarkin, A. V. Kaziev, T. V. Stepanova, A. A. Pisarev, and M. V. Atamanov. Development of Protective Metal Coatings on Aluminum by Magnetron Sputtering. *Journal of Surface Investigation. X ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2013, Vol. 7, No. 6, pp. 1156–1162)
 11. В.М. Жданов, А.А. Степаненко. Влияние резонансной перезарядки на вязкость частично ионизованной плазмы в магнитном поле. Физика плазмы, 2013, том 39, №12, стр. 1089.
(V. M. Zhdanov and A. A. Stepanenko. Influence of Resonant Charge Exchange on the Viscosity of Partially Ionized Plasma in a Magnetic Field. *Plasma Physics Reports*, 2013, Vol. 39, No. 12, pp. 976–985).
 12. Сысолятина Е.В., Собянин К.А., Петряков А.В., Трушкин Н.И., Бекетова Е.Н., Арсенкова О.Ю., Карпова Т.И., Гинцбург А.Л., Акишев Ю.С., Ермолаева С.А. Бактерицидное воздействие низкотемпературной аргоновой плазмы на биопленки, сформированные in vitro и в зубном канале. Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2013, № 6, с.8-12.
(Sysolyatina, E.V., Sobyenin, K.A., Petryakov, A.V., Trushkin, N.I., Beketova, E.N., Arseenkova, O.Yu., Karpova, T.I., Gintsburg, A.L., Akishev, Yu.S., Ermolaeva, S.A. Bactericidal action of non-thermal plasma on biofilms formed in vitro and within a root channel. *Journal of Microbiology Epidemiology and immunobiology*. 2013, №6, p.8)
 13. Казиев А. В., Хромов П. А., Щелканов И. А., Ходаченко Г. В., Степанова Т. В., Тумаркин А. В. Экспериментальное исследование сильноточного импульсного магнетронного разряда с управляемой конфигурацией внешнего магнитного поля // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1, № 2. С. 173–178.
 14. Тумаркин А. В., Ходаченко Г. В., Казиев А. В., Щелканов И. А., Степанова Т. В. Магнетронный разряд с расплавленным катодом // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1, № 3. С. 276–282.

15. Баловнев А.В., Григорьева И.Г., Додулад Э.И., Савелов А.С., Салахутдинов Г.Х. Исследование рентгеновского излучения микропичевого разряда при помощи термолюминисцентных детекторов. журнал «Прикладная физика», 2013 г., № 4, С. 23-26.

Зарубежные конференции:

1. A.V. Spitsyn, A.V. Golubeva, M. Mayer, D.I. Cherkez, N.P. Bobyr, N.S. Klimov, Yu.M. Gasparyan, O.V. Ogorodnikova, V.Kh. Alimov, V.S. Efimov, A. Putrik, V.M. Chernov. Retention and Permeation of Deuterium in Low-activation Steels by Gas and Plasma Exposure. 14th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications, p.38
2. O.V. Ogorodnikova, K. Sugiyama, Yu. Gasparyan, V. Efimov. Deuterium retention in displacement damage produced by fast heavy ions in tungsten and Eurofer. 14th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications, p.68.
3. M. Zibrov, M. Mayer, A. Pisarev, E. Markina, K. Sugiyama, M. Betzenbichler, A. Manhard, Yu. Gasparyan, and H. Kurishita. Deuterium retention in TiC and TaC doped tungsten under low-energy ion irradiation. 14th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications. p.85.
4. Yu.M. Gasparyan, V.S. Efimov, A.A. Mednikov, Yu.V. Borisyuk, A.A. Pisarev, I.B. Kupriyanov, G.N. Nikolaev, L.A. Kurbatova. Deuterium retention in beryllium under high heat plasma loads in QSPA-Be facility. 14th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications. p.118.
5. D. Kogut, N. Trifonov, V. Kurnaev. Evolution of the surface roughness of the beryllium tiles and its impact on the tritium inventory in ITER. 14th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications. p.120.
6. V. Kurnaev, I. Vizgalov, K. Gutorov, T. Tulenbergenov, I.Sokolov, A.Kolodeshnikov, V.Zuev, V.Ignashev, I.Bogomolova. Plasma Beam Simulator for KTM Tokamak Materials Tests. 14th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications. p.133.
7. C. Grisolia, L.B. Begrambekov, J.Y. Pascal and B. Pégourié. Hydrogen trapping in carbon film: from laboratories studies to TORE SUPRA applications. 14th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications. p.51.
8. A. Barsuk, L. Begrambekov, O. Buzhinsky, A. Zhitluchin, N. Klimov, A. Kozlovckaya, A. Putric, R. Chayurutdinov, and A. Yaroshevskaya. Behavior of Protecting B4C Coating under Irradiation by Plasma Pulses of QSPA-T. 14th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications. p.93.
9. A.B. Putrik, N.S. Klimov, V.A. Barsuk, L.B. Begrambekov, P.A. Shigin, A.M. Zhitlukhin, V.L. Podkovirov, D.V. Kovalenko, A.D. Yaroshevskaya, A.V. Kozlovskaya, I.I. Arkhipov. Deposition of Plasma Facing Materials Erosion Products under ITER-like Transient Events in the Plasma Gun QSPA-T Experiments. 14th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications. p.99.
10. A.V. Spitsyn, A.V. Golubeva, M. Mayer, N.P. Bobyr, Yu.M. Gasparyan, N.S. Klimov, B.I. Khripunov, V.Kh. Alimov, D.I. Cherkez, O.V. Ogorodnikova, V.M. Chernov, V.S. Efimov, A. Putrik, V.B. Petrov, M.V. Leontieva-Smirnova. "RETENTION OF DEUTERIUM IN DAMAGED LOW-ACTIVATION STEEL RUSFER (EK-181) AFTER GAS AND PLASMA EXPOSURE". ICFRM-16.
11. Yu.M. Gasparyan, S.A. Krat, A.S. Popkov, A.A. Pisarev. Co-deposition of deuterium and lithium in magnetron plasma discharge. 3rd International symposium on Lithium Applications for fusion devices. Frascati, Italy. October 9-11, 2013, p. 56.
12. Roldughin V.I., Sherysheva E.E., Zhdanov V.M. On some peculiarities of gas mixture flow in nanosize channels. // Ion transport in organic and inorganic membranes. Conference proceedings. Tuapse, 2013. P. 216-218.
13. S. Krat, B. Bernt, Yu. Gasparyan, M. Zibrov, A. Pisarev. The installation for study of deuterium and lithium codeposition in magnetron discharge. Proceedings of the XXI International conference «Ion-surface interactions ISI-2013». Yaroslavl, 22-26 August 2013., vol. 2, pp. 92-95

14. Yu.M.Gasparyan, A.A.Mednikov, V.S.Efimov, A.A.Pisarev, O.V.Ogorodnikova, K.Sugiyama, I.Čadež and Dr.S.Markelj. Deuterium retention in self damaged tungsten after atomic and plasma exposure. Proceedings of the XXI International conference «Ion-surface interactions ISI-2013». Yaroslavl, 22-26 August 2013., vol. 2, pp. 256-258
15. V.S.Efimov, A.A.Mednikov, Yu.M.Gasparyan, A.A.Pisarev, O.V.Ogorodnikova, K.Sugiyama, M.Mayer, T.Schwarz-Sellinger, A.V.Spitsyn, A.V.Golubeva, N.P.Bobyр. Deuterium retention in Eurofer steel at gas and plasma exposure. Proceedings of the XXI International conference «Ion-surface interactions ISI-2013». Yaroslavl, 22-26 August 2013., vol. 2, pp. 473-475
16. Zibrov M. S., Khodachenko G. V., Tumarkin A. V., Kaziev A. V. High rate deposition of coatings in a magnetron discharge with melted cathode. Proceedings of the XXI International conference «Ion-surface interactions ISI-2013». Yaroslavl, 22-26 August 2013, Vol. 2. P. 480–483
17. Tumarkin A. V., Khodachenko G. V., Kaziev A. V., Zibrov M. S. Investigation of a magnetron discharge with melted cathode. Proceedings of the XXI International conference «Ion-surface interactions ISI-2013». Yaroslavl, 22-26 August 2013. Vol. 2. P. 523–526
18. L.B.Begrambekov, A.M.Zakharov, A.S.Kaplevsky, P.A.Shigin, Application of layer-to-layer sputtering and TDS analysis for investigation of hydrogen isotope balance in C:H films irradiated by deuterium plasma. Proceedings of the XXI International conference «Ion-surface interactions ISI-2013». Yaroslavl, 22-26 August 2013. v.2, p 368-371.
19. C Grisolia, B Rousseau, A El Kharbachi, L Marchetti, J Chene, V Malard, A Semerok, L Mercadier, J Herman, F. Gensdarmes, A Roynette, S Peillon D Vrel and L Begrambekov. Plasma wall interactions in tokamak: their consequences on safety issues and possible techniques in order to fulfill a safe operation. Proceedings of the XXI International conference «Ion-surface interactions ISI-2013». Yaroslavl, 22-26 August 2013. v.2, p 274.
20. E.Marenkov, S.Krashennnikov, R.Smirnov, A.A.Pisarev. On hydrogen transport in media with a continuous distribution of traps over binding energy. Proceedings of the XXI International conference «Ion-surface interactions ISI-2013». Yaroslavl, 22-26 August 2013. v. 2, p.381-384.
21. Н.В.Мамедов, В.А.Курнаев, Д.Н.Синельников, Д.В.Колодко, Д.А.Труфанов, Конверсионная способность материалов конвертера для прибора «АРИЕЭС-Л. Сборник трудов XXI международной конференции по взаимодействию ионов с поверхностью, г.Ярославль, 22-26 августа 2013г., том 1, стр 336-229
22. 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. Сборник трудов XXI международной конференции по взаимодействию ионов с поверхностью, г.Ярославль, 22-26 августа 2013г. том 2, стр 445-448
23. Kurnaev V.A., Strikhanov M.N. New issues of R&D and education in Russia relevant to EU-Russia collaboration in Fusion. EU_RF Coordinative Committee -7 meeting 27.06.2013 Brussels, Belgium.
24. Kurnaev V.A. EU institutions-NRNU МЕРPhI collaborative works. EU_RF Coordinative Committee -7 meeting 27.06.2013 Brussels, Belgium.
25. Kaziev A. V., Khodachenko G. V. Optical diagnostics of the low-pressure quasistationary diffuse discharge // Proc. 2nd International Conference on Research and Application of Plasmas PLASMA-2013 (Warsaw, Poland, 2013). P. 5.05

Отечественные конференции:

1. С.А. Крат, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев. Сравнение эрозии внутренней стенки токамака JET с ИТЭР-подобной и углеродной стенками, 56ая научная конференция МФТИ, 25-30 ноября 2013 г.
2. А.А. Айрапетов, Л.Б. Беграмбеков, Я.А. Садовский, А.Ф. Скрипицын. Эрозия углеродных материалов в щелях при воздействии озона, 56я научная конференция МФТИ. 25-30 ноября 2013 г.
3. Ролдугин В.И., Жданов В.М., Шерышева Е.Е. Особенности течения газов и газовых смесей в нанопористых мембранах // Тезисы докладов XX Всероссийской конференции "Структура и динамика молекулярных систем", г. Йошкар-Ола, Россия, 24 – 29 июня 2013. – С. 141.

4. А.А. Степаненко. Поперечные свойства переноса в замагниченной частично ионизованной плазме, сборник трудов 5 Всероссийской молодежной конференции «Фундаментальные и инновационные вопросы современной физики», г. Москва, 2013, С. 177.
5. Л.Б. Беграббеков, А.А. Гордеев, А.В. Грунин, А.Е. Евсин, С.В. Иванова, А.С. Каплевский. Особенности захвата водорода в цирконий с хромовым покрытием при осаждении покрытия и при испытаниях в перегретом паре и в водородной плазме // Пленки и покрытия-2013: Труды 11-й Международной конференции (6-8 мая 2013 г., Санкт-Петербург), с. 272-275.
6. Алхимова М.А., Башутин О.А., Вовченко Е.Д., Додулад Э.И., Савёлов А.С. Влияние электродной системы на излучательные характеристики вакуумной искры: Тезисы докладов XL Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 2013. С. 250.
7. Башутин О.А., Вовченко Е.Д., Додулад Э.И., Кузнецов А.П., Савёлов А.С., Саранцев С.А. Комплексное исследование корпускулярных потоков импульсной плазмы: Сборник тезисов докладов XV Всероссийской конференции «Диагностика высокотемпературной плазмы» ДВП-15, Звенигород, 2013. С. 82.
8. Вовченко Е.Д., Козловский К.И., Пономарев Д.Д., Шиканов А.Е., Цыбин А.С.. Разработка и исследование элементов импульсных нейтронных генераторов на основе лазерно-плазменного диода и триода: Тезисы докладов XL Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, Звенигород, 2013. С. 279.
9. Алхимова М.А., Ананьин О.Б., Вовченко Е.Д., Мелехов А.П., Савелов А.С. Исследование излучательных характеристик лазерной плазмы и плазмы сильноточного вакуумного разряда по ослаблению рентгеновского излучения в слоях алюминиевых фильтров: Тезисы докладов XI Всероссийского молодежного Самарского конкурса-конференции научных работ по оптике и лазерной физике, Самара, 6–10 ноября 2013.
10. Алхимова М.А., Вовченко Е.Д. Диагностика вакуумных искровых разрядов методами поглотителей и обработки рентгеновских изображений плазмы: Тезисы докладов II Международной молодежной научной школы «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ», Москва, НИЯУ МИФИ, апрель 2013.

Доклады, представленные на зимней научной сессии НИЯУ МИФИ 2013 года в рамках секции «Физика плазмы и УТС» и XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью» 1-2 февраля 2013г.:

1. А.А. Степаненко, С.И. Крашенинников, О теории движения пылевой частицы в плазме, аннотации докладов Научной сессии МИФИ 2013, г. Москва, 2013, С. 72.
2. А.В. Баловнев, И.Г. Григорьева, А.С. Савелов, Г.Х. Салахутдинов. Комплексное измерение параметров плазмы в сильно точных разрядных установках, аннотации докладов Научной сессии МИФИ 2013, г. Москва, 2013, С. 73.
3. А.В. Тумаркин, Г.В. Ходаченко. Жидкофазные магнетронные системы, аннотации докладов Научной сессии МИФИ 2013, г. Москва, 2013, С. 73.
4. Н.В. Мамедов, В.А. Курнаев, Д.Н. Синельников, Д.А. Труфанов. Испытание макета конвертера нейтральных частиц прибора Ариес-Л, аннотации докладов Научной сессии МИФИ 2013, г. Москва, 2013, С. 74.
5. В.М. Жданов, А.А. Степаненко. Влияние резонансной перезарядки на вязкость частично ионизованной плазмы в магнитном поле, аннотации докладов Научной сессии МИФИ 2013, г. Москва, 2013, С. 75.
6. Ф.С. Подоляко, И.А. Сорокин, И.В. Визгалов, В.С. Кленов, А.Н. Зеленский, G. Atoian, D. Raparia, J. Ritter. Исследование предельных ограничений на получение, транспортировку и ускорение интенсивных пучков ионов Н в источнике поляризованных ионов коллайдера RHIC, аннотации докладов Научной сессии МИФИ 2013, г. Москва, 2013, С. 76.
7. А.В. Казиев, Г.В. Ходаченко. Визуализация процессов, протекающих в импульсной магнетронной плазме, аннотации докладов Научной сессии МИФИ 2013, г. Москва, 2013, С. 76.
8. И.А. Сорокин, И.В. Визгалов, К.М. Гуторов, Ф.С. Подоляко, аннотации докладов Научной сессии МИФИ 2013, г. Москва, 2013, С. 77.

9. С.И. Крашенинников, Дж.Р. Ангус, Дж. Гютерл, А.Ю. Пигаров, Р.Д. Смирнов, Р.П. Дорньер, М. Умански, Т.Д. Ронглин, Д.К. Максфилд, А.Л. Рокмо, К.Х. Скиннер, Е.Д. Маренков, А.А. Писарев. О проблемах пристеночной плазмы, стенки и пыли в термоядерных реакторах, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 7.
10. И.В. Визгалов, К.М. Гугоров, В.А. Курнаев, Т.Р. Туленбергенов, И.А. Соколов, А.А. Колодешников, В.А. Зуев, В.И. Игнашев, И.Н. Богомолова. Стенд имитационных испытаний при токамаке КТМ, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 20.
11. А.Б. Путрик, Н.С. Климов, В.А. Барсук, Л.Б. Беграмбеков, П.А. Шигин, А.М. Житлухин, В.Л. Подковыров. Продукты эрозии обращенных к плазме материалов ТЯР, образующиеся в экспериментах по имитации импульсных переходных плазменных процессов ИТЭР на плазменном ускорителе КСПУ-Т, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 24.
12. К.М. Гугоров, И.В. Визгалов, И.А. Сорокин, Ф.С. Подоляко. Исследование взаимодействия плазмы с поверхностью в пучково-плазменной установке ПР-2, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 40.
13. Е.Д. Маренков, Р.Д. Смирнов, С.И. Крашенинников, А.А. Писарев. О реакции первой стенки токамаков на ЭЛМ, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 44.
14. Д.К. Когут, Н.Н. Трифонов, В.А. Курнаев. Особенности эволюции микрорельефа и захвата трития на поверхности бериллиевых тайлов в условиях со-осаждения примесей в ИТЭР, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 53.
15. Е.Д. Маренков, Р.Д. Смирнов, С.И. Крашенинников, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев. Транспорт водорода в материалах с широким распределением ловушек по энергиям выхода, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 56.
16. Д.А. Труфанов, Д.К. Когут, В.А. Курнаев. Разработка пользовательского интерфейса для кода SCATTER, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 60.
17. 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, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 64.
18. Н.П. Бобырь, А.В. Спицын, А.В. Голубева, М. Майер, Ю.М. Гаспарян, В.М. Чернов. Накопление водорода в сплаве V-4CR-4Ti, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 68.
19. Л.Б. Беграмбеков, А.В. Власюк, А.Е. Евсин, В.Н. Ермаков, А.С. Каплевский. Расчет траекторий ионов в вакуумной нейтронной трубке с целью оптимизации её ионно-оптической системы, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 71.
20. С.А. Крат, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев. Разработка и первые результаты применения кода PIM:SET: “Particles in magnetron: sputtering, evaporation, transportation”, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 75.
21. М.С. Зибров, М. Майер, Е.А. Маркина, К. Сугияма, В.С. Ефимов, А.А. Медников, А.А. Писарев, Х. Кюришита. Накопление дейтерия в вольфраме, легированном карбидом титана и карбидом тантала, под воздействием ионного и плазменного облучения, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 79.
22. Н.В. Мамедов, В.А. Курнаев, Д.Н. Синельников, Д.А. Труфанов. О возможности одновременного определения элементного состава и толщины пленки на поверхности, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 83.+
23. А.В. Барсук, Л.Б. Беграмбеков, О.И. Бужинский, А.М. Житлухин, А.В. Козловская, А.Б. Путрик, Р.Р. Хайрутдинов, А.Д. Ярошевская. Поведение модельных образцов защитного покрытия кристаллического карбида бора (B_4C) под облучением потоками плазмы большой плотности

мощности на установке КСПУ-Т, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 88.

24. А.А. Медников, В.С. Ефимов, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев, О.В. Огородникова. Захват и газовыделение дейтерия в вольфраме, поврежденном ионами высоких энергий, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 92.
25. И.М. Тимофеев, А.А. Писарев, Ю.М. Гаспарян, А.А. Русинов, Н. Zushi, Y. Inoue. Моделирование баланса частиц в сферическом токамаке QUEST, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 96.
26. В.С. Ефимов, Ю.М. Гаспарян, А.А. Медников, Ю.В. Борисюк, А.А. Писарев, И.Б. Куприянов, Г.Н. Николаев, Л.А. Курбатова. Накопление дейтерия в бериллии при облучении импульсной сильноточной плазмой, сборник научных трудов XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2013, С. 99.

Доклады, представленные на XI Курчатовской молодежной школе 12 – 15 ноября 2013 г.:

1. И.Е. Бородкина, М. Комм, И.В. Цветков. Моделирование электрического поля около обращенных к плазме поверхностей при наличии наклонного магнитного поля.
2. И.В. Визгалов, К.М. Гуторов, Ф.С. Подоляко, И.А. Сорокин. Влияние паров воды на ионный состав водородной плазмы пучково-плазменного разряда.
3. Л.Б. Беграмбеков, А.А. Гордеев, А.В. Грунин, А.Е. Евсин, А.С. Каплевский. О возможности ускоренных испытаний циркониевых сплавов и защитных покрытий на них на водородостойкость в плазме газового разряда.
4. Л.Б. Беграмбеков, А.В. Власюк, А.М. Захаров. Модификация порошка (пыли) бора при интенсивном ионном облучении.
5. С.А. Крат, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев, И. Быков, М. Mayer, de Saint Aubin, M. Balden, C. Lungu, A. Widdowson, JET-EFDA contributors. Эрозия внутренней стенки токамака JET в период кампании 2011-2012.
6. А.С. Попков, С.А. Крат, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев. Изучение захвата дейтерия при соосаждении с литием в магнетронном разряде.
7. Е.Д. Маренков, С.И. Крашенинников, А.А. Писарев. Транспорт водорода в материалах с широким распределением ловушек по энергиям связи.
8. Казиев А. В., Ходаченко Г. В. Неустойчивости плазмы квазистационарного импульсного разряда в магнитном поле

Награды, премии, гранты

1. Гаспарян Ю.М., Грант Президента РФ на 2013-2014 гг.
2. Садовский Я.А., Грант Президента РФ на 2014-2015 гг.
3. Бобырь Н.П., Черкез Д.И., Гаспарян Ю.М., Премия им. И.В.Курчатова за лучшую работу среди молодых научных сотрудников и инженеров-исследователей 2013 г.
4. Крат С.А. – диплом, 11-я Курчатовская молодежная научная школа.
5. Алхимова М.А. – диплом и первое место среди стендовых докладов XI Всероссийского молодежного Самарского конкурса-конференции научных работ по оптике и лазерной физике

Объекты интеллектуальной собственности:

1. Беграмбеков Л.Б., Шигин П.А., Садовский Я.А., Евсин А.Е., Айрапетов А.А., Иванова С.В. Устройство для облучения изделий потоком атомов водорода с тепловыми скоростями (RU2479167C1, Заявка на патент № 2012101996/07 от 20.01.2012, Дата выдачи 10.04.2013)
2. Е.Д. Маренков. Программа для ЭВМ «DIFTRAP» (Заявка №2013619242 от 15.10.2013, Свидетельство № 2013661389 от 06.12.2013)
3. Вовченко Е.Д., Козловский К.И., Пономаренко А.Г., Пономарев Д.Д., Шведова Т.А., Шиканов А.Е., Импульсный генератор нейтронов (RU135216U1, Заявка на патент № 2013127722/07 от 18.06.2013, Дата выдачи 27.11.2013)
4. Вовченко Е.Д., Козловский К.И., Кузнецов А.Ю., Пономарев Д.Д., Шведова Т.А., Шиканов А.Е., Импульсный генератор нейтронов (RU135240U1, Заявка на патент № 2013117284/07 от 16.04.2013, Дата выдачи 10.09.2013)

Учебные пособия

1. Морозов Д.Х.. Введение в теорию горячей плазмы Часть 1. 2-ое издание, исправленное и дополненное. НИЯУ МИФИ. 2013. 149 с.
2. Морозов Д.Х.. Введение в теорию горячей плазмы Часть 2. НИЯУ МИФИ. 2013. 97 с.

Защищенные диссертации:

1. Когут Д.К. Моделирование взаимодействия частиц с морфологически неоднородными поверхностями обращенных к плазме материалов, к.ф.-м.н., специальность 01.04.08, 27 марта 2013.
2. Маренков Е.Д. Влияние транспорта водорода в первой стенке термоядерных реакторов на рециклинг, к.ф.-м.н., специальность 01.04.08, 17 апреля 2013.
3. Мамедов Н.В. Методика исследования взаимодействия плазмы с поверхностью на основе спектроскопии ионного рассеяния и установка для ее реализации, к.ф.-м.н., специальность 01.04.08, 18 декабря 2013.
4. Додулад Э.И. Влияние конфигурации электродов на эмиссионные свойства разряда типа сильноточная низкоиндуктивная вакуумная искра, к.ф.-м.н., специальность 01.04.08, 18 декабря 2013.

Диссертации, защищенные выпускниками кафедры вне НИЯУ МИФИ

5. Кузнецов А.С. – PhD Aleksey Kuznetsov “Hydrogen particle and plasma interactions with heterogeneous structures” – University of Twente.
6. Васильков Д.Г. Быстрые транспортные процессы и краевые эффекты в плазме стелларатора Л-2М, к.ф.-м.н., специальность 01.04.08, 4 февраля 2013.

Издания кафедры:

1. Годовой отчет по НИР за 2012 год (ISBN 978-5-7262-1833-5) Ред. В.А. Курнаев, М.: МИФИ 2012, 64с.
2. Материалы XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». Москва, 1-2 февраля 2013 г. (ISBN 978-5-7262-1808-3) Ред. В.А. Курнаев и др., М.: МИФИ 2012, 108с.

Научно-организационные мероприятия, проведенные кафедрой:

1. Секция «Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез» на научной сессии МИФИ-2012, Москва, 04 февраля 2013 г.
2. XVI Конференция «Взаимодействие плазмы с поверхностью», Москва, 1-2 февраля 2013г.
3. XXI Международная конференция «Взаимодействие ионов с поверхностью» 22-26 августа 2013г., г. Ярославль.

Международное сотрудничество:

1. University of California San Diego, USA – Победа в конкурсе по постановлению П220 на создание новой лаборатории под руководством профессора UCSD С.И. Крашенинникова.
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 – Стажировка, совместные исследования и публикации (Е.Д. Маренков, И.Е. Бородкина).
4. ITER Organization, France – Стажировка (П.А. Шигин)
5. Институт атомной энергии, г. Курчатов, Казахстан – Совместные исследования и публикации (Визгалов И.В., Курнаев В.А.)
6. CEA Cadarache, France – Совместные исследования (Л.Б. Беграмбеков) + рабочий визит в НИЯУ МИФИ доктора Х. Гризолиа.
7. University of Illinois, USA – Стажировка (И. Щелканов). Совместные исследования, поддержанные контрактом МОН РФ (А.А.Писарев, Г.В.Ходаченко)
8. 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

**ДИПЛОМНЫЕ ПРОЕКТЫ, ЗАЩИЩЕННЫЕ СТУДЕНТАМИ КАФЕДРЫ В 2013 ГОДУ,
С ПРИСВОЕНИЕМ КВАЛИФИКАЦИИ ИНЖЕНЕР-ФИЗИК**

№	Фамилия И.О.	Руководитель	Тема дипломного проекта
T12-21			
1.	Асадулин Глеб Маратович	Горшков А.В. (РНЦ)	Диагностика томсоновского рассеяния: возможность измерения токовой скорости и тангенциальная система для токамака T-15.
2.	Ахмедов Эмиль Рамазанович	Рой И.Н. (РНЦ)	Юстировка передаточного тракта для гиротрона мощностью 1 МВт
3.	Бернт Дмитрий Дмитриевич	Писарев А.А.	Модификация токосъемников суперконденсаторов путем осаждения углеродных наноструктур из плазмы магнетронного разряда.
4.	Бернт Богдана Александровна	Писарев А.А.	Изучение захвата дейтерия при соосаждении с литием в магнетронном разряде.
5.	Двоглазов Ярослав Михайлович	Савелов А.С.	Исследование структуры плазмы Z-пинчевого разряда
6.	Демиденко Александр Витальевич	Пхайко Н.А. (ВНИИТФ)	Разработка и исследование характеристик водородной ионной пушки для очистки металлических поверхностей в вакууме.
7.	Динер Борис Сергеевич	Путилин В.М. (ТРИНИТИ)	Исследование спектральных и энергетических характеристик импульсной лампы накачки для лазерной установки УФЛ-2М
8.	Коняев Кирилл Сергеевич	Репин П.Б. (ВНИИЭФ)	Регистрация пространственно-временной картины свечения плазмы сильнотоочного Z-пинча с применением матрицы световодов
9.	Костина Анастасия Николаевна	Мирнов С.В. (ТРИНИТИ)	Исследование феноменологии развития H- и L-моды на токамаке T-11M
10.	Лепихов Сергей Александрович	Крашевская Г.В.	Исследование эволюции параметров плазмы на установке "Магнетор"
11.	Маршук Евгений Сергеевич	Топорков Д.А. (ТРИНИТИ)	Изучение энергетических характеристик водородного плазменного потока установки МК-200 при экспериментальном моделировании воздействия горячей термоядерной плазмы на защитные покрытия ИТЭР.
12.	Медников Артем Алексеевич	Гаспарян Ю.М.	Захват и газовыделение дейтерия в материалах на основе вольфрама
13.	Немец Антон Ролланович	Крупин В.А.	Доработка методики CXRS-измерений ионной температуры и концентраций ядер рабочего газа и примесей на установке T-10.
14.	Окулов Алексей Алексеевич	Салахутдинов Г.Х.	Многоэлектродная зондовая система диагностики эмиссионных характеристик ионных источников нейтронных трубок
15.	Отряхин	Цвентух М.М.	Моделирование эрозионных и эмиссионных

	Дмитрий Владимирович	(ФИАН)	процессов на поверхности вольфрама, покрытого микроструктурой, при воздействии интенсивных потоков энергии
16.	Подoliaко Федор Сергеевич	Визгалов И.В.	Получение, транспортировка и ускорение высокоинтенсивных пучков ионов H при перезарядке атомного водорода в натриевой пароструйной перезарядной мишени
17.	Понарин Кирилл Владимирович	Кутеев Б.В. (РНЦ)	Применение методов системного анализа для параметров стационарного нейтронного источника на основе установки токамак
18.	Ромашкина Наталья Михайловна	Петров С.И. (ВНИИЭФ)	Фотохронографические измерения спектра мягкого рентгеновского излучения лазерной плазмы с использованием многослойных зеркал
19.	Савин Сергей Павлович	Лыков В.А. (ВНИИТФ)	Анализ неоднородности поля чернотельного излучения в сферическом боксе-конверторе для лазерных установок мегаджоульного класса
20.	Смирнова Дарья Викторовна	Голубев А.А. (ИТЭФ)	Невозмущающая газовая диагностика ионных пучков
21.	Сорокин Иван Александрович	Визгалов И.В.	Диагностика микротечей воды в камеру термоядерных установок
E12-04			
1.	Вафин Сергей Николаевич	Морозов Д.Х. (РНЦ)	Предел по плотности в токамаке-реакторе с дополнительным нагревом
2.	Грунин Андрей Викторович	Беграмбеков Л.Б.	Исследование особенностей захвата дейтерия в металлы при их облучении в дейтериевой плазме с примесью кислорода
3.	Ермаков Владимир Николаевич	Беграмбеков Л.Б.	Газообмен между водородной плазмой с примесью кислорода и стенкой плазменной камеры из нержавеющей стали
4.	Мищенко Алексей Максевич	Шигин П.А.	Разработка режима высокоскоростного осаждения боркарбидного покрытия в вакуумно-плазменной установке
C12-06			
1.	Джаманкулов Айбек Маратович	Полухин С.Н. (ФИАН)	Влияние электротехнических параметров цепи разряда плазменного фокуса на генерацию нейтронного излучения
2.	Качинский Виталий Константинович	Стародуб А.Н. (ФИАН)	Применение объектива Шварцшильда для формирования изображений лазерной плазмы на длине волны 4,5 нм
3.	Леонтьева Ольга Владиславовна	Стародуб А.Н. (ФИАН)	Экспериментальное изучение формирования кратеров в твердотельных мишенях под воздействием мощного лазерного импульса
4.	Халин Игорь Витальевич	Горелик В.С. (ФИАН)	Оптика фотонных кристаллов, заполненных полупроводниками и металлами



В день защиты дипломов 21.02.2013. В первом ряду преподаватели (слева направо): Д.Л. Кирко, Ю.А. Лебедев, В.С. Стрелков, Н.А. Кирнева, В.С. Мирнов, Азизов (председатель ГЭК), Н.Г.Ковальский (председатель ГЭК), В.А. Курнаев, А.С. Савелов, Д.Х. Морозов, А.А. Писарев. Второй ряд: Б.В. Кутеев, В.И. Ильгисонис, Г.С. Воронов, В.А. Иванов

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»,

ФИАН – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук

ИТЭФ – Институт теоретической и экспериментальной физики имени А. И. Алиханова

МАГИСТЕРСКИЕ ДИССЕРТАЦИИ, ЗАЩИЩЕННЫЕ СТУДЕНТАМИ КАФЕДРЫ В 2013 ГОДУ, С ПРИСВОЕНИЕМ КВАЛИФИКАЦИИ ИНЖЕНЕР-ФИЗИК

<i>№</i>	<i>Фамилия И.О.</i>	<i>Руководитель</i>	<i>Тема дипломного проекта</i>
T03-21M			
1	Ефимов Виталий Сергеевич	Писарев А.А.	Накопление дейтерия в сталях Русфер и Ефрофер при облучении в плазме
2.	Раевский Илья Флегмонтович	Савелов А.С.	Лазерные методы визуализации быстропротекающих плазменных процессов на микропинчевой установке ПИОН
M03-21			
1.	Даньшин Вадим Владимирович	Ходаченко Г.В.	Установка на основе аномального тлеющего разряда повышенного давления с подогреваемым катодом
2.	Карпушкин Сергей Александрович	Писарев А.А.	Нанесение наноструктурированных углеродных покрытий плазменными методами
3.	Манохин Илья Леонидович	Визгалов И.В.	Исследование рентгеновского излучения плазмы на установке ПР-2

Практика школьников

№	Фамилия И.О.	Лицей	Руководитель
<i>Лето</i>			
1.	Богданова Анна Денисовна	№1511	Синельников Д.Н.
2.	Голичузова Мария Вадимовна	№1511	Зибров М.С.
3.	Лопатко Иван Игоревич	№1511	Маренков Е.Д.
4.	Морозов Артем Алексеевич	№1511	Синельников Д.Н.
<i>Осень</i>			
1.	Бессонов Роман Эльханович	№ 1511	Тумаркин А. В.
2.	Воробьев Андрей Владимирович	№ 1511	Сорокин И. А.
3.	Галайда Александр Владимирович	№ 1511	Раевский И.Ф.
4.	Гамов Николай Олегович	№ 1511	Раевский И. Ф.
5.	Дьяконов Дмитрий Максимович	№ 1511	Тарасюк Г. М.
6.	Кудряшов Евгений Константинович	№ 1511	Тарасюк Г. М.
7.	Лаишевский Станислав Дмитриевич	№ 1511	Садовский Я.А.
8.	Лебедевич Маргарита Вадимовна	№ 1511	Каплевский А. С.
9.	Матюшин Максим Андреевич	№ 1523	Тумаркин А. В.
10.	Молчанова Екатерина Артемовна	№ 1511	Крат С. А.
11.	Нименко Екатерина Алексеевна	№ 1511	Захаров А. М.
12.	Рахманин Ансар Фаритович	№ 1511	Маренков Е. Д.
13.	Харина Анна Павловна	№ 1511	Крат С. А.
14.	Царегородцев Андрей Сергеевич	№ 1511	Ефимов В. С.
15.	Черкасов Роман Геннадьевич	№1511	Садовский Я. А.
16.	Богданова Анна Денисовна	№1511	Егоров И. Д.
17.	Голичузова Мария Вадимовна	№1511	Егоров И. Д.
18.	Бутров Дмитрий Владимирович	№1511	Алхимова М.А.
19.	Киселев Василий Владимирович	№ 1547	Мамедов Н.В.

Свои работы ребята с успехом представили на различных конкурсах в начале 2014 года.

В 2013 году на кафедре также был организован кружок для школьников «Занимательная электроника» (руководители – Вайтонис В.В., Харрасов А.М.), в котором приняли участие 20 человек из лицеев 1511 и 1547.

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.
Ходаченко Г.В.	доцент
Шигин П.А.	доцент
Садовский Я.А.	ассистент
Маренков Е.Д.	ассистент
Саранцев С.А.	ассистент

Совместители

Акишев Ю.С.	проф. (ТРИНИТИ)
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)
Мозгрин Д.В.	доцент (Минобрнауки)
Морозов Д.Х.	проф. (ИФТ НИЦ КИ)
Стрелков В.С.	проф. (ИФТ НИЦ КИ)
Цветков И.В.	доцент (НИЯУ МИФИ)
Черковец В.Е.	проф. (ТРИНИТИ)

Научный сектор

Айрапетов А.А.	н.с.
Башутин О.А.	н.с.
Бердникова М.М.	инж. 1 кат.
Борисюк Ю.В.	вед. инж.
Вайтонис В.В.	инж.
Вергазов С.В.	н.с.
Вовченко Е.Д.	с.н.с., к.ф.м.н.
Додулад Э.И.	инж.
Калачев А.М.	инж.
Коборов Н.Н.	инж.
Мамедов Н.В.	инж.
Перелыгин С.Ф.	с.н.с., к.ф.м.н.
Сидоров П.П.	инж.
Политыко И.В.	инж.
Степанова Т.В.	инж. 1 кат.
Урусов В.А.	н.с., к.ф.м.н.
Щелканов И.А.	инж., к.ф.м.н.
Кондаков В.В.	0,5 н.с., к.ф.м.н.

Вспомогательный персонал

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

Аспиранты

Синельников Д.Н.	Николаева В.Е.
Козут Д.К.	Баловнеев А.В.
Маренков Е.Д.	Асадулин Г.Б.
Бородкина И.Е.	Двоеглазов Я.М.
Казиев А.В.	Ермаков В.Н.
Степаненко А.А.	Савин С.П.
Шотниев В.А.	Зибров М.С.
Григорьева И.Г.	Грунин А.В.
Литвин А.Д.	Сорокин И.А.
Евсин А.Е.	Подолько Ф.С.
Каплеевский А.С.	Ефимов В.С.
Крат С.А.	Раевский И.Ф.
Тумаркин А.В.	

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ РАБОТ

<i>Elgeti S.</i>	26	<i>Крат С.А.</i>	24, 25
<i>Gao L.</i>	26	<i>Крашенинников С.И.</i>	6
<i>Kurishita H.</i>	26	<i>Кретер А.</i>	7
<i>Manhard A.</i>	26	<i>Кузнецов А.П.</i>	19
<i>Айрапетов А.А.</i>	22	<u><i>Куликов И.А.</i></u>	13
<u><i>Алхимова М.А.</i></u>	16	<i>Курнаев В.А.</i>	7, 10, 21, 31, 35, 36
<i>Ананьин О.Б.</i>	16	<i>Лаенгер М.</i>	7
<i>Башутин О.А.</i>	17, 18	<i>Майер М.</i>	25, 26
<i>Беграмбеков Л.Б.</i>	22, 23	<i>Мамедов Н.В.</i>	21, 31, 35, 36
<i>Бобырь Н.П.</i>	27	<i>Маренков Е.Д.</i>	6, 7
<i>Борисюк Ю.В.</i>	34	<i>Маркина Е.А.</i>	26
<i>Бородин Д.</i>	7,	<i>Мелехов А.П.</i>	16
<i>Вайсберг О.Л.</i>	10,	<i>Огородникова О.В.</i>	27
<i>Вергазов С.В.</i>	22	<u><i>Орешникова Н.М.</i></u>	34
<i>Визгалов И.В.</i>	9, 29, 35	<i>Писарев А.А.</i>	24, 25, 26, 27, 28, 32, 34
<i>Вовченко Е.Д.</i>	15, 16, 17, 18	<i>Подолько Ф.С.</i>	9, 29
<u><i>Войтюк А.Н.</i></u>	22	<u><i>Попков А.С.</i></u>	24
<i>Гаспарян Ю.М.</i>	24, 25, 26, 27, 28	<i>Раевский И.Ф.</i>	20
<i>Голубева А.В.</i>	27	<i>Рамакоти Р.Ш.</i>	16
<i>Гордеев А.А.</i>	22, 23	<u><i>Рябцев С.А.</i></u>	34
<i>Грунин А.В.</i>	23	<i>Савелов А.С.</i>	15, 16, 17, 18, 20
<i>Гуторов К.М.</i>	9, 29	<i>Садовский Я.А.</i>	22
<i>Двоеглазов Я.М.</i>	19	<i>Саранцев С.А.</i>	17, 19, 20, 30
<u><i>Дворнова А.А.</i></u>	31	<i>Сидоров П.П.</i>	33
<i>Додулад Э.И.</i>	17, 20	<i>Синельников Д.Н.</i>	21, 31, 35, 36
<i>Евсин А.Е.</i>	23	<i>Сорокин И.А.</i>	9, 29
<u><i>Ексаева А.А.</i></u>	7,	<i>Спицын А.В.</i>	27
<i>Ефимов В.С.</i>	27, 28	<i>Степаненко А.А.</i>	8,
<i>Жданов В.М.</i>	8,	<u><i>Тарасюк Г.М.</i></u>	32
<i>Журавлев Р.Н.</i>	10,	<u><i>Терентьев В.П.</i></u>	22
<i>Зибров М.С.</i>	26	<u><i>Тимофеев И.М.</i></u>	28
<i>Казиев А.В.</i>	13, 14	<u><i>Труфанов Д.А.</i></u>	10,
<i>Каплевский А.С.</i>	23	<i>Тумаркин А.В.</i>	13
<i>Киришнер А.</i>	7,	<i>Урусов В.А.</i>	11, 12
<i>Козловский К.И.</i>	15	<i>Ходаченко Г.В.</i>	13, 14, 32, 34
<u><i>Колодко Д.В.</i></u>	21, 31, 35, 36	<i>Шестаков А.Ю.</i>	10,
<u><i>Костюшин В.А.</i></u>	17	<i>Шиканов А.Е.</i>	15

Подчеркнуты фамилии студентов

16 конференция
«ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ»
 Заседание №1

Пятница, 1 февраля

начало в 10.00

10.10-10.40	<p>С.И. КРАШЕНИННИКОВ¹, ДЖ.Р. АНГУС¹, ДЖ. ГЮТЕРЛ¹, А.Ю. ПИГАРОВ¹, Р.Д. СМИРНОВ¹, Р.П. ДОРНЬЕР¹, М. УМАНСКИ², Т.Д. РОГНЛИН², Д.К. МАНГСФИЛД³, А.Л. РОКМО³, К.Х. СКИННЕР³, Е.Д. МАРЕНКОВ⁴, А.А. ПИСАРЕВ⁴</p> <p>¹Калифорнийский университет Сан-Диего, США ²Ливерморская Национальная Лаборатория Лоуренса, США ³Принстонская лаборатория физики плазмы, Принстон, США ⁴Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</p> <p>О проблемах пристеночной плазмы, стенки и пыли в термоядерных реакторах</p>
10.40-11.10	<p>С.В.МИРНОВ¹, В.Б.ЛАЗАРЕВ¹, Н.Т.ДЖИГАЙЛО¹, В.М.НЕСТЕРЕНКО¹, М.В.КИСЕЛЕВ¹, С.И.КРАВЧУК¹, С.П.ДЖУРИК¹, Ю.В.ПЕТРОВ¹, А.Н.КОСТИНА², И.Е.ЛЮБЛИНСКИЙ³, А.В.ВЕРТКОВ³</p> <p>¹ФГУП ГНЦ РФ ТРИНИТИ ²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ³ОАО «Красная Звезда»</p> <p>Исследование эффективности сбора лития и его эвакуации из вакуумной камеры токамака методом криогенной мишени. Первые результаты</p>
11.10-11.30	<p>А.М. ЛИТНОВСКИЙ¹, М. ХЕЛЛВИГ¹, Д. МАТВЕЕВ^{1,2}, М. КОММ³, М. ВАН ДЕН БЕРГ⁴, Г. ДЕ ТЕММЕРМАН⁴, Д.Л. РУДАКОВ⁵</p> <p>¹Институт исследования климата и Энергии, Юлих, Германия ²Факультет прикладной физики, Гентский университет, Бельгия ³Факультет исследования плазмы и поверхности, Карлов Университет, Чехия ⁴Институт фундаментальных исследований, Нойвеген, Нидерланды ⁵Калифорнийский университет Сан Диего, США</p> <p>Исследования вольфрамового покрытия для нового дивертора реактора ИТЭР: статус и планы</p>
11.30.-11.50	<p>А. БАРСУК¹, Л.БЕГРАМБЕКОВ², О. БУЖИНСКИЙ, А. ВЛАСЮК², А. ГОРДЕЕВ², А. ГРУНИН², А. ЕВСИН², А. ЖИТЛУХИН¹, А. ЗАХАРОВ², А. КОЗЛОВСКАЯ¹, А. МИЩЕНКО¹, П.А. ШИГИН¹, З. ХАЙРУТДИНОВ¹, А. ЯРОШЕВСКАЯ¹</p> <p>¹ ФГУП ГНЦ РФ ТРИНИТИ ²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</p> <p>Защитный слой карбида бора. Нанесение, испытание и удаление продуктов эрозии</p>
11.50-12.10	<p>Перерыв на кофе</p>
12.10-12.30	<p>И.В. ВИЗГАЛОВ¹, К.М. ГУТОРОВ¹, В.А. КУРНАЕВ¹, Т.Р. ТУЛЕНБЕРГЕНОВ², И.А. СОКОЛОВ², А.А. КОЛОДЕШНИКОВ², В.А. ЗУЕВ², В.И. ИГНАШЕВ², И.Н. БОГОМОЛОВА²</p> <p>¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ²Институт Атомной Энергии Национального Ядерного Центра РК</p> <p>Стенд имитационных испытаний при токамаке КТМ</p>
12.30 -12.50	<p>А.Б. ПУТРИК, Н.С. КЛИМОВ, В.А. БАРСУК, И.И. АРХИПОВ¹, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ², П.А. ШИГИН², А.М. ЖИТЛУХИН, В.Л. ПОДКОВЫРОВ</p> <p>ФГУП ГНЦ РФ ТРИНИТИ ¹ИФХЭ РАН им. А.Н.Фрумкина, Москва, Россия ²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</p> <p>Продукты эрозии обращенных к плазме материалов ТЯР, образующиеся в экспериментах по имитации импульсных переходных плазменных процессов ИТЭР на плазменном ускорителе КСПУ-Т</p>
12.50-13.10	<p>В.П. БУДАЕВ¹, Л.Н. ХИМЧЕНКО², А.М. ЖИТЛУХИН³, Ю.В. МАРТЫНЕНКО¹, В.М. САФРОНОВ^{2,3}, А.В. КАРПОВ¹, Н.С. КЛИМОВ³, В.Л. ПОДКОВЫРОВ³, Н.Е. БЕЛОВА¹, В.А. БАРСУК³, Д.В. КОВАЛЕНКО³, И.М. ПОЗНЯК³, А.Б. ПУТРИК³, А.В. РОГОВ¹, А.Д. ЯРОШЕВСКАЯ³</p>

	¹ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, ² Проектный центр ИТЭР, Москва, Россия ³ ФГУП ГНЦ ТРИНИТИ, Троицк, Россия Исследование взаимодействия высокотемпературной плазмы с вольфрамом в условиях переосаждения бериллия
13.10-13.30	А.В. ВЕРТКОВ ¹ , М.Ю. ЖАРКОВ ¹ , И.Е. ЛЮБЛИНСКИЙ ¹ , С.В. МИРНОВ ² , В.Б. ЛАЗАРЕВ ² , А.Н. КОСТИНА ² ¹ ОАО «Красная Звезда», Москва ² ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Московская обл. Криогенная мишень для сбора лития в вакуумной камере токамака Т-11М
13.30-14.30	Перерыв на обед
14.30-14.50	Ю.В. МАРТЫНЕНКО НИЦ «Курчатовский институт», Москва Эрозия поверхности металла в результате образования волно-образного рельефа под действием мощных плазменных потоков
14.50-15.10	Д.К. КОГУТ Wall conditioning of the tokamaks with metal PFCs: application to ITER
15.10-15.30	И.И. АРХИПОВ ¹ , Н.С. КЛИМОВ ² , С.А. ГРАШИН ³ , К.Ю. ВУКОЛОВ ³ , Н.Ю. СВЕЧНИКОВ ³ , В.Г. СТАНКЕВИЧ ³ ¹ ФГБУН Институт Физической Химии и Электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН Москва, РФ ² ФГУП ГНЦ РФ ТРИНИТИ ³ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, РФ Характеризация углеводородных пленок, полученных в экспериментах по моделированию плазменных процессов в ИТЭР
15.30-15.50	К.М. ГУТОРОВ, И.В. ВИЗГАЛОВ, И.А. СОРОКИН, Ф.С. ПОДОЛЯКО Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Исследование взаимодействия плазмы с поверхностью в пучково-плазменной установке ПР-2

Заседание №2

Суббота, 2 февраля

начало в 10.00

10.00 – 10.15	Е.Д. МАРЕНКОВ, Р.Д. СМЕРНОВ ¹ , С.И. КРАШЕНИННИКОВ ¹ , А.А. ПИСАРЕВ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ¹ Калифорнийский университет Сан-Диего, США О реакции первой стенки токамаков на ЭЛМ
10.15 – 10.30	М.Ю. НАГЕЛЬ, Ю.В. МАРТЫНЕНКО НИЦ «Курчатовский институт», Москва Моделирование образования развитого рельефа осаждаемых пленок
10.30 – 10.45	М.М. ЦВЕНТУХ ¹ , Г.А. МЕСЯЦ ¹ , С.А. БАРЕНГОЛЬЦ ² ¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва ² Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва Инициирование и поддержание эктонных процессов в вакуумном разряде во внешнем магнитном поле
10.45 – 11.00	Д.К. КОГУТ, Н.Н. ТРИФОНОВ, В.А. КУРНАЕВ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Особенности эволюции микрорельефа и захвата трития на поверхности бериллиевых тайлов в условиях со-осаждения примесей в ИТЭР
11.00 – 11.15	Е.Д. МАРЕНКОВ, С.И. КРАШЕНИННИКОВ ¹ , Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ¹ Калифорнийский университет Сан-Диего, США Транспорт водорода в материалах с широким распределением ловушек по энергиям выхода
11.15 – 11.30	Д.А. ТРУФАНОВ, Д.К.КОГУТ, В.А. КУРНАЕВ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Разработка пользовательского интерфейса для кода SCATTER
11.30 – 11.50	КОФЕ-БРЭЙК

11.50 – 12.05	<u>Н.В. МАМЕДОВ</u> , В.А. КУРНАЕВ, Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, Д.А. ТРУФАНОВ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» О возможности одновременного определения элементного состава и толщины пленки на поверхности
12.05 – 12.20	А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, М.Л. ДУБРОВ, Я.А. САДОВСКИЙ, А.Ф. СКРИПИЦЫН Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Удаление перенапыленных углеродных слоев из щелей материалов первой стенки ТЯР при помощи озона
12.20 – 12.35	Н.П. БОБЫРЬ, А.В. СПИЦЫН, А.В. ГОЛУБЕВА, М. МАЙЕР ¹ , Ю.М. ГАСПАРЯН ² , В.М. ЧЕРНОВ ³ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия ¹ Институт физики плазмы им. Макса Планка, Германия ² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ³ ВНИИИМ им. А.А. Бочвара, Москва, Россия Накопление водорода в сплаве V-4Cr-4Ti
12.35- 12.50	Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.В. ВЛАСЮК, А.Е. ЕВСИН, В.Н. ЕРМАКОВ, А.С. КАПЛЕВСКИЙ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Расчет траекторий ионов в вакуумной нейтронной трубке с целью оптимизации её ионно-оптической системы
12.50 – 13.05	С.А. КРАТ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Компьютерный код для моделирования движения частиц в условиях магнетронного разряда PIM:SET
13.05 – 13.20	М.С. ЗИБРОВ, М. МАЙЕР ¹ , Е.А. МАРКИНА ¹ , К. СУГИЯМА ¹ , В.С. ЕФИМОВ, А.А. МЕДНИКОВ, А.А. ПИСАРЕВ, Х. КЮРИШИТА ² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ¹ Институт физики плазмы им. Макса Планка, Германия ² Международный исследовательский центр ядерных материалов, Университет Тохоку, Япония Накопление дейтерия в вольфраме, легированном карбидом титана и карбидом тантала, под воздействием ионного и плазменного облучения
13.20- 13.40	КОФЕ-БРЕЙК
13.40- 13.55	А.В. БАРСУК ¹ , Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ ² , О.И. БУЖИНСКИЙ ¹ , А.М. ЖИТЛУХИН ¹ , А.В. КОЗЛОВСКАЯ ¹ , А.Б. ПУТРИК ¹ , Р. ХАЙРУТДИНОВ ¹ , А.Д. ЯРОШЕВСКАЯ ¹ ¹ ФГУП ГНЦ ТРИНИТИ, Троицк, Россия ² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Поведение модельных образцов защитного покрытия кристаллического карбида бора (B₄C) под облучением потоками плазмы большой плотности мощности на установке КСПУ-Т
13.55- 14.10	А.А. МЕДНИКОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, В.С. ЕФИМОВ, А.А. ПИСАРЕВ, О.В. ОГОРОДНИКОВА ¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ¹ Институт физики плазмы им. Макса Планка, Гархинг, Германия Захват и газовыделение дейтерия в вольфраме, поврежденном ионами высоких энергий
14.10- 14.25	<u>И.М. ТИМОФЕЕВ</u> , А.А. ПИСАРЕВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. РУСИНОВ ¹ , Н. ZUSHI ¹ , Y. INOUE ¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Университет Кюшу, Фукуока, Япония Измерение потоков частиц на стенку сферического токамака QUEST
14.25- 14.40	В.С. ЕФИМОВ ¹ , Ю.М. ГАСПАРЯН ¹ , А.А. МЕДНИКОВ ¹ , Ю.В. БОРИСЮК ¹ , А.А. ПИСАРЕВ ¹ , И.Б. КУПРИЯНОВ ² , Г.Н. НИКОЛАЕВ ² , Л.А. КУРБАТОВА ² ¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ² ОАО «ВНИИИМ им.А.А. Бочвара», Москва, Россия Накопление дейтерия в бериллии при облучении импульсной сильноточной плазмой

**ГОДОВОЙ ОТЧЕТ ПО НИР
КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ ЗА 2013 г.**

Под редакцией В.А. Курнаева

Оригинал-макет подготовлен Степаненко А.А.

Подписано в печать 02.07.2014
Уч.-изд. л. 7,0
Изд. № 009-3

Формат 60×84 1/8
Печ. л. 7,0
Заказ

Тираж 100 экз.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».
Типография НИЯУ МИФИ.
115409, Москва, Каширское ш., 31