Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ГОДОВОЙ ОТЧЕТ ПО НИР КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ ЗА 2014 г.

Под редакцией В.А. Курнаева

Москва 2015

ГОДОВОЙ ОТЧЕТ ПО НИР КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ ЗА 2014 г. / Под ред. В.А. Курнаева. М.: НИЯУ МИФИ, 2015. – 64 с.

Отчет кафедры физики плазмы НИЯУ МИФИ за 2014 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 2014 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 2014 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 2014 represents main results of theoretical, numerical, experimental and technological investigations obtained by faculty and scientific stuff as well as by students in 2014. 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 stuff as well as the list of the publications and scientific presentations, list of master theses defended, and the list of scholar's participating in scientific works of the department in 2014 are given. The short information on conferences held by the Department in 2014 is also presented.

Редакционная коллегия

 Председатель
 Курнаев В.А.

 Зам. председателя
 Писарев А.А.

 Научный секретарь
 Гаспарян Ю.М.

ISBN 978-5-7262-2139-7

СОДЕРЖАНИЕ

І. ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ	
А.А. ПШЕНОВ, А.А. ЕКСАЕВА, Е.Д. МАРЕНКОВ, С.И. КРАШЕНИННИКОВ Моделирование экранирования поверхностей обращенных к плазме материалов под воздействием экстремальных потоков энергии	6
В.М. ЖДАНОВ, А.А. СТЕПАНЕНКО Влияние неупругих столкновений на коэффициенты переноса электронов в частично ионизованной многокомпонентной плазме	7
В.М. ЖДАНОВ, А.А. СТЕПАНЕНКО Коэффициенты переноса тяжелых частиц в слабоионизованной реагирующей молекулярной плазме	8
И.Е. БОРОДКИНА, И.В. ЦВЕТКОВ Модель распределения электрического потенциала при малых углах наклона магнитного поля к обращенным к плазме поверхностям	9
Д.А. ТРУФАНОВ, Е.Д. МАРЕНКОВ, С.И. КРАШЕНИННИКОВ Роль диффузии адатомов вольфрама в росте вольфрамового пуха	10
Е.Д. МАРЕНКОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, С.И. КРАШЕНИННИКОВ Уравнения транспорта водорода в материалах с многоместными ловушками	11
Е.Д. МАРЕНКОВ, С.И. КРАШЕНИННИКОВ Испарение пылинок с большим атомным номером в пристеночной плазме токамака	12
2. ФИЗИКА РАЗРЯДОВ И ПУЧКОВ	
Е.А. МЕЩЕРЯКОВА, М.С. ЗИБРОВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО Измерение параметров аргоновой плазмы высокочастотного индукционного разряда	13
А.В. КАЗИЕВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО Низкочастотные периодические процессы в нераспыляющем магнетронном разряде	14
В.Д. ПОПОВ, К.М. ГУТОРОВ, И.А. СОРОКИН Исследование топологии магнитного поля автоколебательного разряда	15
Ю.А. ЛЕБЕДЕВ, Г.В. КРАШЕВСКАЯ, М.А. ГОГОЛЕВА Пространственное распределение параметров электронной компоненты азотной плазмы электродного микроволнового разряда при пониженных давлениях	16
М.М. ЦВЕНТУХ, Г.В. КРАШЕВСКАЯ, А.С. ПРИШВИЦЫН Удержание плазмы магнитным полем знакопеременной кривизны	17
О.А. КОВАЛЬ, И.В. ВИЗГАЛОВ Компрессия вторичного электронного пучка, генерируемого в режиме высоковольтных колебаний на установке ПР-2	18
В. ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЫ И ПОВЕРХНОСТИ	
А.В. БАЛОВНЕВ, Е.Д. ВОВЧЕНКО, И.Г. ГРИГОРЬЕВА, А.С. САВЕЛОВ, Г.Х. САЛАХУТДИНОВ Исследования спектров рентгеновского излучения плазмы микропинчевого разряда в зависимости от материала анода разрядной системы	19
Я.М. ДВОЕГЛАЗОВ, И.Ф. РАЕВСКИЙ, А.С. САВЁЛОВ, С.А. САРАНЦЕВ Влияние микропинчевания на формирование субмикронной периодической структуры на поверхности электродов сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры	
И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ In-situ анализ ионного состава замагниченной плазмы	
И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ, К.М. ГУТОРОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО О возможности диагностики микротечей воды с помощью автоколебательного разряда	22

4. ВЗАИМОДЕИСТВИЕ ПЛАЗМЫ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ С ВЕЩЕСТВОМ	
А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.Н. ВОЙТЮК, В.П. ТЕРЕНТЬЕВ Разработка методов удаления перенапыленных бор-углеродных слоев	23
А.Е. ЕВСИН, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.С. КАПЛЕВСКИЙ Захват дейтерия в цирконий с поверхностным оксидным слоем при облучении атомами дейтерия с тепловыми энергиями	24
С.А. КРАТ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ, М. МАЙЕР Влияние, эрозия и осаждение материалов в диверторе ЈЕТ в период экспериментальной кампании 2011-2012 годов	25
В.С. ЕФИМОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ, И.Б. КУПРИЯНОВ, Н.П. ПОРЕЗАНОВ Исследование накопления дейтерия в бериллии при облучении мощными импульсными потоками плазмы	26
А.С. ПОПКОВ, С.А. КРАТ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ Изучение взаимодействия литий-дейтериевых пленок с атмосферными газами	27
С.А. РЯБЦЕВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, М.С. ЗИБРОВ, А.А. ПИСАРЕВ Термодесорбция дейтерия из радиационных дефектов в вольфраме	28
К.М. ГУТОРОВ, И.В. ВИЗГАЛОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО, И.А. СОРОКИН Осаждение пленок и их удаление в щелях и затененных от плазмы областях в присутствии ВЧ-полей	29
Д. КОГУТ, Д. ДУЭЙ, М. БЭЛДВИН, Р. ДОРНЕР, Д. СИНЕЛЬНИКОВ, Н. МАМЕДОВ, В. КУРНАЕВ, Х. БЕККЕР, Т. ШВАРЦ-СИЛЕНГЕР Изотопный обмен водорода в берилии	30
Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, Д.В. КОЛОДКО, В.А. КУРНАЕВ, Н.В. МАМЕДОВ, Н.А. СОЛОВЬЕВ Испытания эффективности макета конвертера нейтралов для прибора АРИЕС-Л	31
5. ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
Ю.В. БОРИСЮК, Н.М. <u>ОРЕШНИКОВА</u> , А.В. ТУМАРКИН, М.А. БЕРДНИКОВА, Г.В. ХОДАЧЕНКО, А.А. ПИСАРЕВ Азотирование титанового сплава BT-23 в аномальном тлеющем разряде	32
Г.М. ТАРАСЮК, А.А. ПИСАРЕВ Плазменная модификация наноструктурированного пористого углеродного электрода для повышения емкости суперконденсатора	33
6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПРИБОРЫ	
А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, О.И. БУЖИНСКИЙ, А.В. ГРУНИН, А.А. ГОРДЕЕВ, А.М. ЗАХАРОВ, А.М. КАЛАЧЕВ, Я.А. САДОВСКИЙ, П.А. ШИГИН Установка для нанесения покрытий карбида бора и тестирования материалов интенсивными тепловыми нагрузками	34
О.А. БИДЛЕВИЧ, И.В. ВИЗГАЛОВ, И.А. СОРОКИН Комбинированный анализатор ионного состава замагниченной плазмы	35
А.В. БАЛОВНЕВ, Е.Д. ВОВЧЕНКО, И.Г. ГРИГОРЬЕВА, А.С. САВЕЛОВ, Г.Х. САЛАХУТДИНОВ Координатно-чувствительный спектрометр импульсного рентгеновского излучения для исследования пространственной структуры плазменных объектов	36
М.С. ЗИБРОВ, А.В. КАЗИЕВ, Г. В. ХОДАЧЕНКО, А.В. ТУМАРКИН, Е.А. МЕЩЕРЯКОВА, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ Установка с высокочастотным индукционным разрядом	

приложения

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Перечень трудов кафедры за 2014 год	38
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Дипломные проекты, защищенные студентами кафедры в 2014 году с присвоением квалификации инженер-физик, защищенные диссертации,	
летняя практика школьников	50
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Список сотрудников и аспирантов кафедры	55
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Именной указатель авторов работ	56
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Программа 17-й конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», НИЯУ МИФИ, 30-31 января 2014 г.	57
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Программа 9-й конференции «Современные методы диагностики плазмы и их применение», НИЯУ МИФИ, 5-7 ноября 2014 г.	60

1. ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБРАЩЕННЫХ К ПЛАЗМЕ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ

А.А. ПШЕНОВ, <u>А.А. ЕКСАЕВА</u>, Е.Д. МАРЕНКОВ, С.И. КРАШЕНИННИКОВ^{*}

*Калифорнийский университет в Сан-Диего, Сан-Диего (США)

Работа посвящена теоретическому объяснению экспериментально наблюдаемой при облучении твердотельных мишеней плазменными потоками высокой мощности зависимости энергии, поглощенной мишенью, от энергии облучающего потока. Под действием мощных тепловых потоков интенсивное испарение поверхности мишени приводит к формированию экранирующего слоя холодной плотной вторичной плазмы. Этот слой эффективно поглощает и переизлучает энергию, приносимую плазменным потоком. В результате поток энергии, достигающий поверхности мишени, падает, что приводит к экспериментально наблюдаемому выходу поглощенной мишенью энергии на насыщение (см. Рис. 1). Интересно, что и для вольфрама, и для углерода насыщение наступает при практически одинаковой плотности энергии облучающего потока, несмотря на то, что атомная масса и излучательная способность элементов существенно различны.

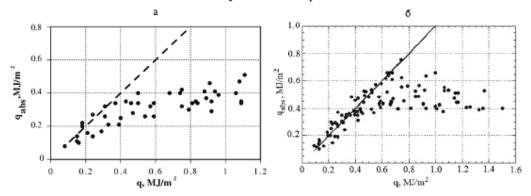


Рис. 1. Зависимости энергии, поглощенной мишенью, от энергосодержания облучающего плазменного потока, полученные на установке МК-200.

а) для углеродной мишени; б) для вольфрамовой мишени

Было рассмотрено несколько теоретических моделей. Сравнение результатов расчета

одной из них с экспериментом приведено на Рис. 2. Было установлено, что энергия насыщения зависит в основном от термодинамических параметров материала и длительности импульса. Такие величины, энергии облучающего плотность потока, излучательная способность ионов материала мишени, скорость расширения экранирующего слоя, важные ДЛЯ определения эрозии мишени, логарифмически слабо влияют на величину энергии насыщения.

Полученные результаты говорят о том, что зависимость энергии, поглощенной мишенью, от плотности энергии облучающего потока не может быть использована для верификации

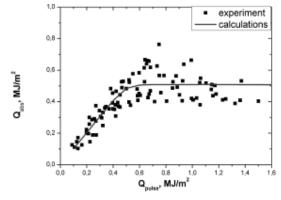


Рис. 2. Точками представлены экспериментальные данные с установки МК-200; кривая представляет результаты численного расчета по предложенной модели

численных кодов, моделирующих эффект экранирования.

ВЛИЯНИЕ НЕУПРУГИХ СТОЛКНОВЕНИЙ НА КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОНОВ В ЧАСТИЧНО ИОНИЗОВАННОЙ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ПЛАЗМЕ

В.М. ЖДАНОВ, А.А. СТЕПАНЕНКО

Одним из ключевых элементов при моделировании низкотемпературной плазмы, используемой в различных технологических устройствах, является анализ процессов переноса электронов, поскольку они определяют ток и энергобаланс разряда. Низкотемпературная плазма содержит значительное количество нейтральных частиц, атомов и молекул, внутренние степени свободы которых активно возбуждаются при столкновениях с электронами плазмы. Поэтому представляется актуальной задача об определении влияния процессов неупругого взаимодействия атомов и молекул плазмы с электронами на электронные коэффициенты переноса.

В работе на основе обобщенного метода моментов получена общая система линеаризованных скалярных, векторных и тензорных уравнений переноса для электронов частично ионизованной многокомпонентной плазмы, в которой учитываются вклады от неупругих столкновений электронов с атомами и молекулами плазмы, а также процессы ионизации атомов электронным ударом и трехчастичной ион-электронной рекомбинации [1].

В частном случае приближения 17 моментов Грэда были получены соотношения для величины отрыва температуры электронов от температуры тяжелых частиц, а также выражения для неравновесных поправок к скорости химических реакций и диагональной части тензора давлений электронов, соответствующие учету омического нагрева плазмы, химических реакций, а также ненулевой сжимаемости плазмы. В этом же приближении были получены выражения для частоты релаксации энергии τ_E^{-1} и коэффициента неупругих потерь электронов δ_{eh} :

$$\tau_E^{-1} = 2\sum_h \left(m_e / m_h \right) \delta_{eh} \tau_{eh}^{-1}, \qquad \delta_{eh} = 1 + \frac{m_h}{2m_e} \frac{\left\langle \Delta \varepsilon_h \left(\zeta^2 - 1.5 \right) \right\rangle_{eh}}{\Omega_{eh}^{11}}. \tag{1}$$

Соотношение (1) для δ_{eh} использовалось для расчета зависимости этой величины от температуры электронов для ряда молекулярных (N_2 , O_2 , H_2 , CO_2) и атомарных (H) газов. Полученные для ряда газов значения δ_{eh} демонстрируют удовлетворительное согласие с имеющимися в литературе экспериментальными данными.

В работе также были проанализированы векторные и тензорные процессы переноса электронов. На основе общей системы векторных и тензорных уравнений переноса для электронов были получены выражения для электронных коэффициентов вязкости, электро- и теплопроводности, которые являются обобщением соответствующих выражений Девото [2] на случай учета неупругих каналов взаимодействия электронов и тяжелых частиц плазмы. Эти соотношения использовались для получения конкретных оценок вклада неупругих столкновений в величину коэффициента диффузии электронов (для молекулярного азота N_2) и электропроводности плазмы (для атомарной водородной плазмы). Было показано, что неупругие столкновения электронов с атомами и молекулами вносят малый вклад в величину векторных и тензорных коэффициентов переноса электронов. При этом наибольший вклад (порядка 5-10 %) вносят столкновения электронов с молекулами, сопровождающиеся возбуждением вращательных степеней свободы молекул.

Список литературы:

^{[1].} Жданов В. М., Степаненко А. А. // Сборник тезисов XLII Международной Звенигородской конференции по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу. Звенигород, 2015. С. 203.

^{[2].} Devoto R. S. // Phys. Fluids. 1967. No. 10. P. 2105.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕНОСА ТЯЖЕЛЫХ ЧАСТИЦ В СЛАБОИОНИЗОВАННОЙ РЕАГИРУЮЩЕЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ПЛАЗМЕ

В.М. ЖДАНОВ, А.А. СТЕПАНЕНКО

Слабоионизованная молекулярная плазма, используемая во многих лабораторных и технологических установках, характеризуется широким спектром различных физических и химических процессов, протекающих как в объеме плазмы, так и на границе между плазмой и стенками и/или электродами вакуумной камеры. Анализ процессов переноса тяжелых частиц в такой плазме позволяет определить кинетику химических реакций, протекающих в плазме, динамику транспорта продуктов реакций, а также найти переносимые тяжелыми частицами на катод установки потоки массы и энергии, определяющие скорость эрозии электрода, ток вторичной электронной эмиссии и, как результат, параметры горения разряда. Поэтому получение системы уравнений переноса для слабоионизованной реагирующей молекулярной плазмы и вывод на её основе выражений для коэффициентов переноса тяжелых частиц представляют важную задачу.

В приближении 17 моментов метода Грэда в работе была получена общая система скалярных, векторных и тензорных уравнений переноса для тяжелых частиц молекулярной плазмы, в которой могут протекать химические реакции произвольного типа, такие как, например, бимолекулярные реакции или реакции диссоциации/ассоциации [1]. При этом дополнительно считалось, что в плазме могут устанавливаться химически слабо- и сильнонеравновесные течения, а тяжелые частицы плазмы наряду с химическими и упругими столкновениями могут также участвовать в столкновениях, приводящих к возбуждению их внутренних степеней свободы.

При анализе скалярных процессов переноса были найдены общие выражения для релаксационного давления и коэффициента объемной вязкости - дополнительных членов, возникающих в диагональной части тензора давлений тяжелых частиц P_{hrs} при учете, соответственно, химических реакций и неупругих столкновений атомов и молекул плазмы [2].

При анализе векторных процессов переноса в плазме, находящейся в магнитном поле, были получены соотношения для парциальных продольных и поперечных потоков тепла и коэффициентов теплопроводности, связанных с переносом поступательной и внутренней энергии тяжелыми частицами плазмы. Найденные соотношения для тепловых потоков позволили привести уравнения многокомпонентной диффузии тяжелых частиц к форме так называемых уравнений Стефана-Максвелла:

$$-\mathbf{d}_{\alpha} - k_{T\alpha} \nabla \ln T = \sum_{\beta} \frac{y_{\alpha} y_{\beta}}{\left[D_{\alpha\beta}\right]_{1}} \left(1 - \Delta_{\alpha\beta}\right) \left(\mathbf{w}_{\alpha} - \mathbf{w}_{\beta}\right), \tag{2}$$

которые, как отмечено в работе [3], наиболее удобны для анализа процессов диффузии и термодиффузии частиц в многокомпонентных смесях газов.

В работе также были получены общие выражения для парциальных коэффициентов вязкости $\eta_{\alpha n}$ (n=0-4) произвольного сорта тяжелых частиц плазмы, находящейся в магнитном поле, которые могут быть представлены как

$$\eta_{\alpha 0} = y_{\alpha} \sum_{\beta} V_{\alpha \beta}^{(0)} y_{\beta} , \qquad \eta_{\alpha 1} + i \eta_{\alpha 3} = y_{\alpha} \sum_{\beta} V_{\alpha \beta}^{(2)} y_{\beta} , \qquad \eta_{\alpha 2} + i \eta_{\alpha 4} = y_{\alpha} \sum_{\beta} V_{\alpha \beta}^{(1)} y_{\beta} . \tag{3}$$

Список литературы:

^{[1].} Жданов В. М., Степаненко А. А. // Сборник тезисов XLII Международной Звенигородской конференции по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу. Звенигород, 2015. С. 203.

^{[2].} Жданов В. М., Алиевский М. Я. Процессы переноса и релаксации в молекулярных газах. М.:Наука, 1989.

^{[3].} Колесников А.Ф., Тирский Г.А. // в сб. «Молекулярная газодинамика». М.: Наука, 1982. С. 20-44.

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ НАКЛОНА МАГНИТНОГО ПОЛЯ К ОБРАЩЕННЫМ К ПЛАЗМЕ ПОВЕРХНОСТЯМ

И.Е. БОРОДКИНА, И.В. ЦВЕТКОВ

В установках типа токамак магнитное поле обычно составляет малые углы с поверхностями обращенных к плазме элементов (ОПЭ), что позволяет уменьшать плотность потока энергии, приходящего на поверхность. При наклонном к поверхности магнитном поле в приповерхностном слое ОПЭ можно выделить три области: плазменный предслой, магнитный предслой и Дебаевский слой. Расчёт распределения потенциала электрического поля в приповерхностном слое в присутствии наклонного магнитного поля, как правило, является достаточно сложной численной задачей. В данной работе получены простые для использования аппроксимационные формулы для распределения потенциала при наличии магнитного поля, которые описывают зависимость профиля потенциала от величины и угла наклона магнитного поля и от параметров плазмы в магнитном предслое и в Дебаевском слое. Модель [1] была расширена и для случая малых углов (менее 5°) наклона магнитного поля к поверхности ОПЭ.

Показано, что описываемые приведенными аналитическими выражениями потенциалы хорошо согласуются с распределениями потенциала, полученными при решении уравнений МГД и при моделировании с помощью PIC-кода SPICE2. При увеличении угла наклона магнитного поля значение плавающего потенциала изменяется слабо, перераспределение потенциала происходит так, что падение потенциала в магнитном предслое и длина магнитного предслоя увеличиваются. Когда магнитное поле почти параллельно поверхности ($\alpha > \alpha^*$, где $\alpha^* = 85,25^\circ$, 86.646° для $M_i = (1,2) \cdot M_H$ при $T_e = T_i$) всё падение потенциала происходит в магнитном предслое, Дебаевский слой исчезает, а значение плавающего потенциала на поверхности не изменяется (рис.1).

Используя полученные угловые и энергетические распределения, были рассчитаны коэффициенты распыления ОПЭ при разных углах наклона магнитного поля. Расчеты проводились для различных материалов ОПЭ. Результаты расчетов коэффициента распыления поверхности позволили сделать вывод, что с точки зрения роста распыления критичными являются области поверхности, с которыми магнитное поле составляет углы $\sim 80^{\circ}$ (рис.2).

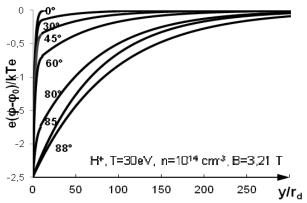


Рис. 1. Распределение потенциала электрического поля, полученное из модели, при различных углах наклона магнитного поля, отсчитываемого от нормали к поверхности

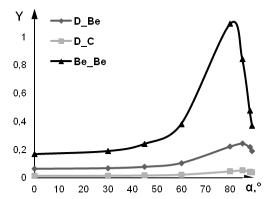


Рис. 2. Зависимость коэффициента распыления бериллия и углерода налетающими ионами D^+ и самораспыления бериллия ионами Be^{4+} от угла наклона магнитного поля (T_e = T_i =20эB, n= $3 \cdot 10^{12}$ см⁻³, B=4.1Т π)

Список литературы:

[1] I. Borodkina et al., 41st EPS Conf. On Plasma Physics (Berlin) 2014.

РОЛЬ ДИФФУЗИИ АДАТОМОВ ВОЛЬФРАМА В РОСТЕ ВОЛЬФРАМОВОГО ПУХА

Д.А. ТРУФАНОВ, Е.Д. МАРЕНКОВ, С.И. КРАШЕНИННИКОВ *

* Калифорнийский университет в Сан-Диего, Сан-Диего (США)

Вольфрам является одним из кандидатов для использования в качестве материала первой стенки термоядерных реакторов, в частности из него будут выполнены диверторные пластины токамака ITER. Эксперименты показывают, что под воздействием плазменного облучения на вольфрамовых поверхностях могут расти волоконные наноструктуры (называемые «пухом») [1]. Необходимыми условиями роста пуха являются облучение поверхности ионами гелия с энергиями выше 20-30 эВ и температура поверхности 1000-2000 К. Формирование пуха наблюдалось также на молибдене, родии и недавно на титане, никеле и железе. Изменение морфологии обращенных к плазме поверхностей в связи с ростом пуха может привести к их повышенной эрозии. Поэтому понимание процесса роста пуха представляет существенный практический интерес.

Вместе с тем механизм образования пуха пока остается не ясным. На текущий момент существует несколько точек зрения. В данной работе рассматривалась модель роста вольфрамового пуха за счет адатомов вольфрама, создаваемых при облучении поверхности гелием [2]. Адатомы создаются под действием плазменного облучения и диффундируют по поверхности волокон пуха в обоих направлениях (от основания к вершине и в обратном направлении). Только при существовании внешней силы, создающей выделенное направление движения в направлении вершины, возможен рост волокна.

Предполагалось, что эта сила возникает за счет изменения энергии связи адатома с поверхностью при приближении к вершине волокна. То есть вершина выступает в роли стока адатомов. Это приводит к появлению потока адатомов в сторону вершины.

Для проверки того, что адатомы сильнее связаны на вершине волокна, было проведено моделирование методом молекулярной динамики. Получена зависимость энергий потенциальных ям на поверхности конуса из вольфрама, в которых может находиться адатом, от кривизны поверхности.

Используя полученную зависимость, было получено выражение для потока адатомов к вершине волокна. Исходя из величины потока адатомов получена зависимость длины волокна от времени, которую можно представить через эффективный коэффициент диффузии $D_{\it eff}$:

$$l = \sqrt{2D_{eff}t} .$$

В [1] рост пуха наблюдался для двух температур 1120 и 1320 К и были получены оценки $D_{II20}=6.6\times10^{12}~{\rm cm^{-2}c^{-1}}$ и $D_{I320}=2.0\times10^{11}~{\rm cm^{-2}c^{-1}}$. Оценки по приведенной выше теоретической формуле дают $D_{II20}=9.6\times10^{12}~{\rm cm^{-2}c^{-1}}$ и $D_{I320}=1.5\times10^{11}~{\rm cm^{-2}c^{-1}}$, что согласуется с данными из эксперимента.

Таким образом, рассмотрена модель роста вольфрамового пуха за счет потока адатомов вольфрама по поверхности волокон, который возникает за счет того, что энергия связи адатомов с поверхностью увеличивается к вершине. В результате вершина волокна пуха выступает в роли стока адатомов, образующихся при облучении гелиевой плазмой. Полученное выражение для зависимости длины волокон от времени и оценки эффективного коэффициента диффузии для этой зависимости, согласуются с данными эксперимента.

Список литературы:

- [1]. Baldwin M., Doerner R. // Nucl. Fusion. 2008. V. 48. P. 035001.
- [2]. Ю.В. Мартыненко, Ю.М. Нагель // Физика плазмы. 2012. Т. 38. В. 12. С. 1082.

УРАВНЕНИЯ ТРАНСПОРТА ВОДОРОДА В МАТЕРИАЛАХ С МНОГОМЕСТНЫМИ ЛОВУШКАМИ

Е.Д. МАРЕНКОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, С.И. КРАШЕНИННИКОВ

Многочисленные работы по моделированию взаимодействия изотопов водорода с вакансиями металлов, в особенности вольфрама, методами теории функционала плотности (DFT) показали, что в одной вакансии может захватываться несколько атомов водорода. Энергии связи этих атомов уменьшаются с ростом их числа. Ясно, что транспорт водорода в материале с такими «многоместными» ловушками должен отличаться от транспорта в материале с разными типами ловушек, обладающих теми же энергиями связи, так как в случае захвата нескольких атомов энергия связи зависит от количества захваченного водорода. В работе представлены уравнения транспорта, учитывающие этот эффект.

Перенос растворенного водорода определяется классическим уравнением диффузии:

$$\frac{\partial C_s}{\partial t} = D\Delta C_s + S_t(\mathbf{r}, t) + S_{imp}(\mathbf{r}, t),$$

где $C_{\rm s}$ – концентрация растворенного водорода, D – коэффициент диффузии, $S_{\rm imp}$ –внешний источник водорода, а $S_{\rm t}$ определяет взаимодействие с ловушками:

$$S_{t} = \sum_{i} iK_{i}C_{i} - RC_{s}\left(\overline{C} - C_{n}\right).$$

Здесь C_i — концентрация водорода в ловушках, содержащих i атомов, \overline{C} - полная концентрация ловушек, коэффициенты $R = v \exp\left(-E_{irp}/T\right)$ и $K_i = v \exp\left(-E_i/T\right)$ определяют скорости захвата и выхода i-го атома из ловушки.

Уравнения, определяющие концентрации C_i , имеют вид:

$$\begin{split} \frac{\partial C_1}{\partial t} &= -K_1 C_1 + R C_s \left(\overline{C} - \sum_i C_i \right) + K_2 C_2 - R C_s C_1, \\ \frac{\partial C_j}{\partial t} &= -j K_j C_j + R C_s C_{j-1} + (j+1) K_j C_{j+1} - R C_s C_j; \frac{\partial C_n}{\partial t} = -n K_n C_n + R C_s C_{n-1}. \end{split}$$

Был разработан код в среде SCILAB, позволяющий решать получившуюся систему уравнений. Моделирование термодесорбционных спектров (ТДС), проведенное с помощью этого кода, не показало каких-либо качественных отличий ТДС, рассчитанных в предположении многоместного захвата, от ТДС с одноместными ловушками. Вместе с тем, изменение ТДС с ростом начальной степени заполнения ловушек отличается для обеих моделей, что может быть использовано для экспериментов, демонстрирующих возможность многоместного захвата. Другой перспективной возможностью постановки таких экспериментов представляется насыщение водородом и последующий ТДС анализ образцов, в которых ловушки созданы облучением электронным пучком больших энергий, что предположительно приводит к образованию только простых вакансий.

Работа поддержана мегагрантом Правительства РФ, госконтракт 14. Y26.31.0008.

ИСПАРЕНИЕ ПЫЛИНОК С БОЛЬШИМ АТОМНЫМ НОМЕРОМ В ПРИСТЕНОЧНОЙ ПЛАЗМЕ ТОКАМАКА

Е.Д. МАРЕНКОВ, С.И. КРАШЕНИННИКОВ

Для описания транспорта пыли в термоядерной плазме разработано несколько кодов, таких как DUSTT, DTOKS, MIGRAIN. Однако модели, используемые в этих кодах, не учитывают взаимодействия плазмы с испаренным материалом пылинки. Это приближение справедливо для пылинок небольших размеров, меньше примерно 10 мкм. Для более крупных пылинок образование облака пара, а затем вторичной плазмы, получающейся в результате его ионизации, оказывает существенное влияние на дальнейшее взаимодействие плазмы с пылинкой. В настоящей работе предлагаются уравнения, описывающие экранирование пыли с учетом электронной теплопроводности.

Пример расчета скорости испарения пылинки в рамках предложенной модели показан на рис. 1, где приведены зависимости скорости испарения от радиуса пылинки $R_{\rm d}$ для различных температур плазмы $T_{\rm inf}$ (светлые маркеры). Для сравнения приведены результаты расчета по классической модели торможения пучка электронов, полученные с использованием уравнений, приведенных в [1] (темные маркеры). Видно, что как величина скорости испарения, так и характер ее зависимости от радиуса различны для обеих моделей. Хотя по порядку величины значения скорости испарения похожи, на практике имеющаяся разница в несколько раз будет иметь существенное значение.

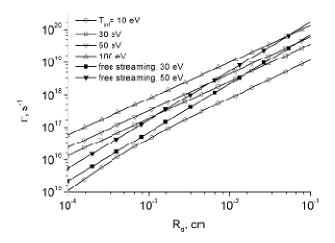


Рис. 1. Зависимость скорости испарения пылинки от ее радиуса

Таким образом, для пылинок с большим атомным номером необходимо использование учитывающих электронную теплопроводность уравнений экранирования, полученных в настоящей работе.

Работа поддержана мегагрантом Правительства РФ, госконтракт 14. Y26.31.0008.

Список литературы:

[1]. Rozhansky V. A., Senichenkov I. Yu. // Plasma Phys. Rep. 2005. V. 31. P. 993.

2. ФИЗИКА РАЗРЯДОВ И ПУЧКОВ

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АРГОНОВОЙ ПЛАЗМЫ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИНДУКЦИОННОГО РАЗРЯДА

Е.А. МЕЩЕРЯКОВА, М.С. ЗИБРОВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО

В работе проводились измерения параметров аргоновой плазмы высокочастотного индукционного (ВЧИ) разряда при давлениях в диапазоне $5 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-2}$ мбар и индукции постоянного осевого магнитного поля в диапазоне 0-80 Гс. Вводимая в разряд ВЧ мощность составляла 1 кВт (отраженная мощность при этом составляла не более 10%). Измерения осевых распределений параметров плазмы проводились при помощи системы из двух одиночных зондов Ленгмюра, установленных на вводе вращения. На зонды подавались пилообразные импульсы напряжения (от -100 В до +100 В); напряжение и ток на зонды регистрировались при помощи цифрового запоминающего осциллографа. Итоговая зондовая характеристика для каждой точки пространства была получена путем усреднения 128 измеренных вольт-амперных характеристик. Температура электронов плазмы определялась исходя из классической теории зондов Ленгмюра. Плотность плазмы была оценена по формуле Бома на основе измеренного ионного тока насыщения на зонд.

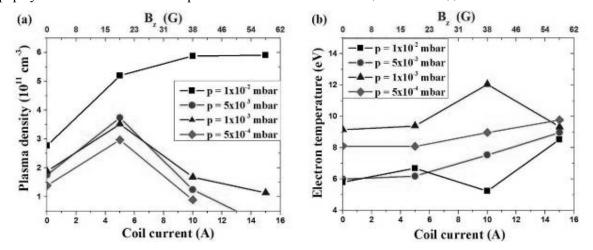


Рис. 1. Зависимости плотности плазмы (a) и температуры электронов (б) от индукции магнитного поля, измеренные на расстоянии 118 мм от антенны для аргоновой плазмы при различных давлениях рабочего газа

Результаты экспериментов показали, что при всех рабочих давлениях имеется слабонеоднородное распределение параметров плазмы по оси камеры. На рис. 1 представлены измеренные зависимости параметров плазмы от индукции магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии 118 мм от антенны, при различных давлениях аргона. Из приведенных зависимостей видно, что при давлении аргона 1×10^{-2} мбар наблюдается монотонный рост плотности плазмы с увеличением индукции поля. При давлениях $\leq 5 \times 10^{-3}$ мбар наблюдается немонотонная зависимость плотности плазмы от индукции магнитного поля. Максимальная плотность плазмы достигается при токе в катушках около 5 A, который соответствует индукции поля около 19 Гс. При высоких значениях индукции поля (>70 Гс) происходит срыв разряда. При этом во всем диапазоне давлений наблюдается слабая зависимость температуры электронов от индукции магнитного поля. Также стоит отметить, что при давлениях $\leq 5 \times 10^{-3}$ мбар максимальное значение плотности плазмы достигает 3×10^{11} см $^{-3}$ и практически не зависит от давления рабочего газа. Таким образом, с уменьшением давления аргона степень ионизации плазмы увеличивается, достигая нескольких процентов при давлении 5×10^{-4} мбар.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В НЕРАСПЫЛЯЮЩЕМ МАГНЕТРОННОМ РАЗРЯДЕ

А.В. КАЗИЕВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО

В последнее время рядом научных групп были обнаружены различные явления волнового характера в импульсных магнетронных разрядах высокой мощности (HiPIMS) [1–3]. Значительные усилия прикладываются для определения механизмов существования дрейфующих зон повышенной ионизации и поиска возможности управления их формированием. На экспериментальном стенде «Пинч» исследовались подобные периодические процессы с частотами в диапазоне порядка нескольких кГц, протекающие в плазме нераспыляющего магнетронного разряда (HPMP).

С помощью высокоскоростной электронно-оптической камеры проводилась регистрация изображений разрядного промежутка в устройстве с профилированными электродами. Частоты, соответствующие наблюдаемым периодическим процессам, находятся в диапазоне □ 2−10 кГц, а характерные размеры областей неоднородностей 0.5−5 см. В специальной серии экспериментов высокоскоростная оптическая съёмка дополнялась измерениями с помощью магнитных зондов, которые применялись для определения динамики магнитного поля в разрядном промежутке. На рис. 1 представлены изображения НРМР в моменты времени, отстоящие друг от друга на 100 мкс, и частотный Фурье-спектр измеренного сигнала магнитного зонда.

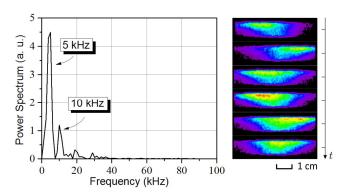


Рис. 1. Низкочастотная область Фурье-спектра сигнала магнитного зонда (слева) и изображения HPMP в устройстве с профилированными электродами (справа) (длительность кадра 1 мкс, задержка между кадрами 100 мкс)

Предложена модель, описывающая возможный механизм возникновения периодических процессов, основанная на классических соображениях о формировании областей повышенной ионизации (страт) в тлеющих разрядах. В условиях, характерных для разрядов магнетронного типа, катодный слой является тонким и бесстолкновительным, а все основные неупругие процессы происходят в направлении $E \times B$ -дрейфа. Это значит, что в такой плазме режим дрейфа и диффузии реализуется лишь в одном направлении азимутальном, — а в других направлениях столкновения частиц не играют роли. Анализ уравнения баланса заряженных частиц плазмы показал наличие нижней и верхней границ пространственного масштаба неоднородностей, а также позволил оценить временные параметры процессов. Результаты аналитических оценок находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными.

Список литературы

- [1]. Kozyrev A.V. et al. // Plasma Phys. Rep. 2011. V. 37. P. 621.
- [2]. Winter J. et al. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2013. V. 46. P. 084007.
- [3]. Anders A., Ni P., Rauch A. // J. Appl. Phys. 2012. V. 111. P. 053304.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВОЛН В ПЛАЗМЕ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО РАЗРЯЛА

В.Д. ПОПОВ, К.М. ГУТОРОВ, И.А. СОРОКИН

В установке ПР-2 проводится систематическое изучение автоколебательных режимов горения разряда, при этом обычно регистрируется напряжение на коллекторе пучка и ток в цепи коллектора. Для исследования особенностей распространения волн в плазменном шнуре ПР-2 была разработана система позиционирования магнитных зондов.

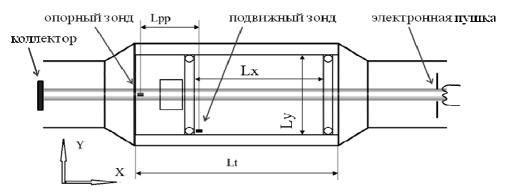


Рис.1. Схема эксперимента с системой позиционирования магнитного зонда в ПР-2

Система позиционирования собрана на универсальном монтажном столе и включает два магнитных зонда — опорный фиксированный и перемещаемый. Минимальное расстояние между зондами 60 мм, диапазон перемещений подвижного зонда — 306 мм вдоль и 210 мм поперек оси установки. Магнитные зонды — катушки из молибденовой проволоки с 6 витками диаметром 2.8 мм и длиной 3.4 мм — были прокалиброваны в катушке Гельмгольца в диапазоне 10-190 Гс.

Исследования распространения волн проводились для четырех типов разрядных контуров, отличающихся собственной резонансной частотой, что позволяло возбуждать колебания в разрядной цепи в диапазоне частот от 40 кГц до 160 МГц. При этом в плазме регистрировались волны в диапазоне частот от 6 МГц до 160 МГц (область геликонов). В высокочастотных режимах волны в плазме совпадают по частоте с колебаниями напряжения на коллекторе, а в низкочастотных – значительно превышают частоты колебаний напряжения на коллекторе, что говорит о присутствии механизмов трансформации колебаний с преимущественным возбуждением ВЧ-волн в плазме.

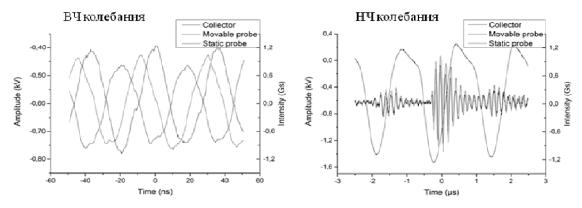


Рис. 2. Регистрация колебаний в цепи коллектора и переменных полей в плазме магнитными зондами

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ АЗОТНОЙ ПЛАЗМЫ ЭЛЕКТРОДНОГО МИКРОВОЛНОВОГО РАЗРЯДА ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ

Ю.А. ЛЕБЕДЕВ*, Г.В. КРАШЕВСКАЯ, М.А. ГОГОЛЕВА*

*Институт Нефтехимического Синтеза им. А.В.Топчиева Российской академии наук (ИНХС РАН)

Метод двойного электрического зонда использован для измерения пространственных распределений концентрации заряженных частиц (рис.1), температуры электронов и постоянного потенциала (рис.2) в электродном микроволновом разряде в азоте при давлении 1 Тор и разных падающих мощностях.

Эксперименты проводились на установке ЭМР-3, расположенной в ИНХС РАН и представляющей собой стальную цилиндрическую разрядную камеру диаметром 15 см, с 4-мя окнами для наблюдения разряда, расположенными в цилиндрической стенке. Разряд зажигался на конце электрода-антенны (5мм медная цилиндрическая трубка), вводимого в камеру с верхнего торца вдоль оси цилиндра (ось разряда) через вакуумный уплотнитель и изолированного по постоянному току от заземленной камеры. Электромагнитная волна с мощностью до 200 Вт и частотой 2.45 ГГц подавалась в разрядную камеру через коаксильноволноводный переход.

Показана неоднородность разряда по напряженности постоянного поля в аксиальном направлении, которая растет при увеличении падающей мощности. Показано, что вблизи электрода/антенны концентрация заряженных частиц превышает критическое значение. Концентрация и неоднородность разряда растут с увеличением микроволновой мощности. Для объяснения полученных результатов намечены дальнейшие экспериментальные исследования с использованием эмиссионной спектроскопии и моделирования.

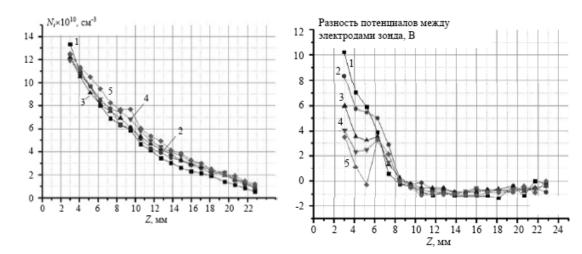


Рис. 1. Распределение плотности плазмы в осевом направлении (за ноль принято положение торца антенны) при различной вкладываемой в разряд CBЧ-мощности: 1-60 Bm, 2-70 Bm, 3-80 Bm, 4-90 Bm, 5-100 Bm

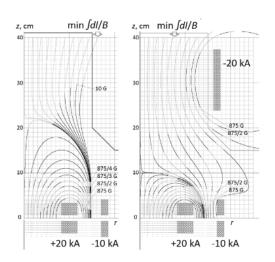
Рис. 2. Распределение разности потенциалов между зондами вдоль оси разряда и нулевом токе на зонд при различной вкладываемой в разряд CB4-мощности: 1-60 Bm, 2-70 Bm, 3-80 Bm, 4-90 Bm, 5-100 Bm

УДЕРЖАНИЕ ПЛАЗМЫ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ЗНАКОПЕРЕМЕННОЙ КРИВИЗНЫ

М.М. ЦВЕНТУХ^{*}, Г.В. КРАШЕВСКАЯ, А.С. ПРИШВИЦЫН

 * Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН

Было установлено, что удержание плазмы в магнитном поле переменной кривизны с выпукло-вогнутыми силовыми линиями приводит к сильному стабилизирующему действию против конвективных (перестановочных) возмущений [1]. Расчеты в соответствии с кинетическим критерием устойчивости для простых комбинаций осесимметричных зеркальных и касповых конфигураций дают сильно-, централизованно-пикированные стабильные профили давления плазмы вместо пологих. Для экспериментального исследования этого эффекта конфигурация магнитного поля компактной магнитной ловушки «Магнетор» была изменена добавлением внешней токовой катушки для выполнения требований на кривизну силовых линий (рис. 1). В этой геометрии эксперимента были выполнены зондовые измерения пространственного распределения плазмы и расчеты критического конвективно-устойчивой профиля давления плазмы. Экспериментальные полученное увеличение ионного тока насыщения в области вблизи минимума удельного объема подтвердили теоретический вывод о наличии пика давления в этой области (рис. 2).



Measured ion saturation current 0.20 0.15 <lsat> 0.10 0.05 0.00 'Kinetic' profiles p_m (pressure) 2 p_{m α=0.1 δ=0.9 γ=1} 6 5 ď 3 2 25 100 125 150 75 r, mm

Рис. 1. Магнитная конфигурация установки «Магнетор». Магнитные силовые линии в сечении r-z. Первоначальная конфигурация (слева) и новая конфигурация с дополнительной катушкой (справа). Магнитные силовые линии около min[dl/B обозначены стрелками

Рис. 2. Сравнение расчетных и измеренных профилей при z = 150 мм. Ионный ток насыщения на зонд (сверху) и кинетические профили давления (снизу)

Список литературы:

[1]. Tsventoukh M. M. // Nucl. Fusion. 2014. V. 54. P. 022004.

КОМПРЕССИЯ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА, ГЕНЕРИРУЕМОГО В РЕЖИМЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КОЛЕБАНИЙ НА УСТАНОВКЕ ПР-2

О.А. КОВАЛЬ, И.В. ВИЗГАЛОВ

В экспериментах по зарядке пылевых частиц стационарным электронным пучком удается получить потенциал на частице почти на два порядка меньше, чем энергия электронов в пучке. Проблемы получения высокого потенциала пылевой частицы связаны с быстрым разлётом частиц из области взаимодействия с пучком, с разрядкой за счет роста тока и вторичной электронной эмиссии с холодной поверхности и термоэмиссионного тока при повышении температуры макрочастиц. Рассмотрена возможность импульсной зарядки пылевых частиц на установке ПР-2 НИЯУ МИФИ, представляющей собой открытую адиабатическую ловушку. В экспериментах с пучковобыла зафиксирована повышенная электронная эмиссия с разрядом коллекторной пластины в присутствии тонких диэлектрических пленок, что позволяет реализовать режим автогенерации высоковольтных импульсов (вплоть до 50 кВ), на одиндва порядка превышающих постоянное напряжение на пушке и коллекторе. Форма и амплитуда импульсов напряжения на коллекторной пластине сильно зависят от параметров разряда, постоянного смещения напряжения и величины индуктивности цепи. Генерируемый во время импульса пучок электронов с коллекторной пластины может быть использован для быстрой зарядки пылевых частиц. Поскольку плотность эмиссионного тока с коллекторной пластины ограничена на уровне 1 А/см², увеличение плотности быстрых электронов в области зарядки пылевых частиц может быть достигнуто за счет компрессии эмитируемых потоков электронов. Предложена модель временной и пространственной компрессии импульсного электронного пучка. В ее основу положены баллистическая фокусировка за счет формы коллекторной пластины, магнитное сжатие в сходящемся магнитном поле и согласованный приход электронов в область инжекции пылевых частиц, где более быстрые электроны догоняют медленные, эмитированные на начальных стадиях развития высоковольтного импульса. Для реализации данного режима возникла необходимость спроектировать магнитную электронно-оптическую систему. Расчеты показывают, что для обеспечения компрессии исходного пучка порядка 10³ необходимо уменьшать ларморовский радиус и, соответственно, увеличивать магнитное поле до величины порядка 1 Тл.

3D модель магнитной системы ПР-2. Методами моделирования в среде COMSOL Multiphysics изучался процесс транспортировки электронного пучка, эмитируемого коллектором, через магнитную пробку в область инжекции пылевых частиц. В случае плоской коллекторной платины наблюдалось прохождение в магнитную пробку только приосевых электронов и отражение периферийных. Эффективная магнитная компрессия предполагает инжекцию быстрых электронов вдоль магнитного поля. Так как ускорение вторично-эмиссионных электронов с коллектора происходит в очень тонком двойном слое, следует применять вогнутую форму эмиссионной поверхности, нормальную к магнитному полю. Разработана программа, позволяющая определять профиль такой поверхности для заданной конфигурации основной магнитной системы ловушки с учетом дополнительных катушек. Моделирование эмиссии электронов с расчетной вогнутой поверхности показало значительное увеличение компрессии за счет улучшения прохождения в область магнитной пробки краевых электронов по сравнению с простым плоским коллектором. Разработан соответствующий коллекторный узел, в котором используется высоковольтный керамический изолятор, предусмотрены возможность смены коллекторной пластины и ее охлаждение.

3. ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЫ И ПОВЕРХНОСТИ

ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ МИКРОПИНЧЕВОГО РАЗРЯДА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МАТЕРИАЛА АНОДА РАЗРЯДНОЙ СИСТЕМЫ

А.В. БАЛОВНЕВ, Е.Д. ВОВЧЕНКО, И.Г. ГРИГОРЬЕВА, А.С. САВЕЛОВ, Г.Х. САЛАХУТДИНОВ

Для исследования спектров рентгеновского излучения (РИ) плазмы сильноточных разрядов был создан комплекс диагностической аппаратуры, состоящий из многоканальных спектрометров РИ на основе сцинтилляционных и термолюминесцентных детекторов, камеробскур и ряда стандартных приборов, таких как пояс Роговского, пин-диод. Эксперименты проводились на установке типа «низкоиндуктивная вакуумная искра» с инициацией разряда от вспомогательных разрядных устройств эрозийного типа. Рабочей средой разряда служили продукты эрозии материала электродов. Сила тока в разряде в экспериментах изменялась в пределах $I \approx 30 - 250$ кА, период разряда T = 5 - 8.5 мкс.

Плазменные точки при микропинчевом разряде на установке «низкоиндуктивная вакуумная искра» образуются в непосредственной близости от анода и формируются в продуктах эрозии анода, которые появляются в межэлектродном промежутке на начальной стадии развития разряда при бомбардировке поверхности анода пучком электронов, возникающим в результате инициализации разряда. Поэтому исследование спектров рентгеновского излучения (в широком энергетическом диапазоне квантов 1-300 кэВ) плазмы микропинчевого разряда при различных материалах анода разрядной системы имеет большое значение для понимания физики процессов, происходящих в плазменном объекте.

Исследование спектров рентгеновского излучения плазмы, получаемой с анодом из различных материалов W и Fe, показали наличие зависимости параметров плазмы от материала анода (рис. 1). Наблюдался рост электронной температуры плазмы с ростом атомного номера материала анода разрядной системы. Также был измерен полный выход рентгеновского излучения плазмы, полученной с разрядной системой, в которой анод выполнен из различных материалов. Полный выход рентгеновского излучения для анода, выполненного из различных материалов: $A1 - 9.5 \times 10^{-2} \, \text{Дж}$; $Fe - 6.0 \times 10^{-2} \, \text{Дж}$; $Cu - 3.0 \times 10^{-2} \, \text{Дж}$; $W - 1.0 \times 10^{-3} \, \text{Дж}$. Полученные результаты согласуются с физическим процессом, приведенным в работе [1].

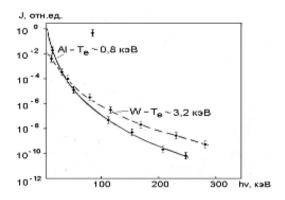


Рис. 1. Спектры излучения плазмы микропинчевого разряда (ток разряда 150 кA) при использовании анода из W(1) и Fe(2)

Список литературы:

[1]. Анциферов П. С., Вихрев В. В., Иванов В. В., Кошалев К. Н.// Физика плазмы. 1990. Т. 16. Вып. 8. С. 1018.

ВЛИЯНИЕ МИКРОПИНЧЕВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СУБМИКРОННОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ СИЛЬНОТОЧНОЙ НИЗКОИНДУКТИВНОЙ ВАКУУМНОЙ ИСКРЫ

Я.М. ДВОЕГЛАЗОВ, И.Ф. РАЕВСКИЙ, А.С. САВЁЛОВ, С.А. САРАНЦЕВ

В работе впервые обнаружено, что на поверхности железных (Ст. 3) электродов сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры в областях, подверженных прямому воздействию со стороны плазменных потоков, формируется периодическая субмикронная структура (рис. 1). Эксперименты проводились на установке «Пион» кафедры «Физика плазмы» НИЯУ МИФИ. Размеры области локализации структуры на поверхности катода и размеры ее структурных ячеек зависят от доли разрядов в серии, сопровождающихся формированием микропинча. В случае стабильного микропинчевания (более 80% разрядов в серии сопровождалось формированием микропинча) при начальной разности потенциалов на межэлектродном промежутке 15 кВ и максимуме разрядного тока ~ 180 кА размеры структурных ячеек составляют ~ 120-150 нм, а площадь области локализации структуры ~ 70 мм² (площадь катода ~ 360 мм²). В случае же, когда микропинч в большинстве разрядов 20% разрядов сопровождались микропинчеванием), размеры отсутствовал (менее структурных ячеек составляли величину ~ 600-700 нм, а площадь ее области локализации $\sim 180 \text{ mm}^2$.

С ростом разрядного тока (по мере перехода к устойчивому микропинчеванию) размеры структурных ячеек уменьшаются (рис. 2). Обнаружено, что на поверхности катода со стороны триггера размеры структурных ячеек меньше, чем в других областях катода.

При исследовании поверхности анода не было обнаружено существенного отличия в размере структурных ячеек при изменении условий протекания разряда. Во всех случаях их размеры составляли ~ 400 нм. Отличие наблюдалось только в площади области локализации структуры. С уменьшением разрядного тока уменьшалась и площадь, на которой формировалась структура.

Исходя из полученных результатов, можно сделать предположение, что размер структурных ячеек отражает интенсивность воздействия потоков плазмы на поверхность катода. В силу того, что при одинаковом разрядном токе (зарядном напряжении) площадь области локализации структуры на поверхности катода в микропинчевом режиме меньше, чем в беспинчевом режиме, можно утверждать, что в этих режимах отличается плотность разрядного тока, а, следовательно, и интенсивность воздействия на единицу площади электродов.

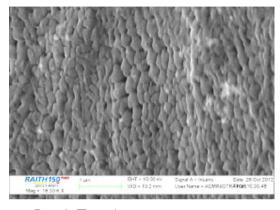


Рис. 1. Периодическая структура на поверхности катода

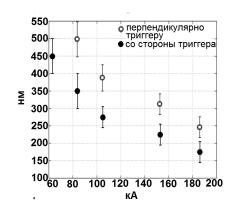


Рис. 2. Зависимость размера структурных образований на поверхности катода от величины разрядного тока

IN-SITU АНАЛИЗ ИОННОГО СОСТАВА ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЫ

И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ

Анализ ионного состава и параметров плазмы встроенными диагностическими системами является важной задачей для контроля режимов горения разряда и ионного масс-спектра в течение эксперимента. Особенно остро задача стоит в имитационных плазменных установках, где отношение концентраций ионов разных сортов является критическим параметром.

На установку PSI-2 (Юлих, Германия) установлен разработанный в МИФИ [1-2] анализатор ионного состава плазмы, использующий собственное магнитное поле установки. Анализатор представляет собой комбинированный прибор и имеет дополнительно зонд Ленгмюра и датчик Холла. Ионы попадают на входную щель анализатора непосредственно из периферии плазменного столба и ускоряются между входной щелью и внутренним сегментом. Далее ионы испытывают полукруговую фокусировку в собственном однородном магнитном поле установки в области коллекторных сборок.

Результаты измерений одиночным зондом Ленгмюра показывают, что в некоторых режимах разряда потенциал плазмы имеет отрицательный знак, таким образом для адекватного измерения ионных спектров необходим параллельный контроль параметров плазмы в области масс-анализа для коррекции потенциала внешнего электрически изолированного корпуса анализатора.

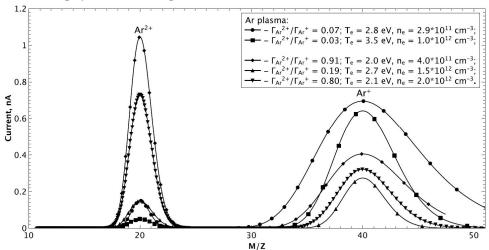


Рис.2. Масс спектр аргоновой плазмы. Приведены оценочные значения отношений потоков разных сортов ионов в разных режимах разряда

На рисунке 2 представлены ионные спектры аргоновой плазмы для реальных экспериментов по эрозии материалов при поверхностно-плазменном взаимодействии. Также на рисунке указаны оценочные значения отношений потоков разных сортов ионов в различных режимах разряда. Полученные данные показывают, что в некоторых режимах горения разряда потоки ионов Ar^{2+} и Ar^{+} на поверхность помещенного в плазму образца сравнимы друг с другом. Это необходимо учитывать при анализе и описании эрозионных процессов в эксперименте.

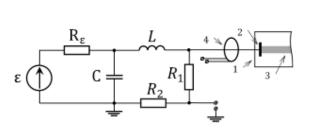
Список литературы:

- [1]. Vizgalov I. V., Koborov N.N., et al. // Instrum. Exp. Techniques. 1999. V. 42. PP. 718-721.
- [2]. Waldmann O., Fussmann G., Bohmeyer W. // 34th EPS Conference on Plasma Physics, Warsaw, 2007, 31F, 5.108.

О ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ МИКРОТЕЧЕЙ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА

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

Разработан метод обнаружения кислородосодержащих соединений, основанный на детектировании перехода пучково-плазменного разряда (ППР) в автоколебательный режим (АКР) горения. АКР достигается при наличии тонкой (10 - 50 нм) диэлектрической пленки на коллекторе электронного пучка при подаче на него напряжения, соответствующего области ОДС ВАХ [1]. Рабочая точка в таком случае является неустойчивой, что приводит к возникновению колебаний в цепи питания электрода. В случае настройки равновесия в переходной области между стравливанием и ростом пленки, система будет очень чувствительна к добавке малого количества кислорода.



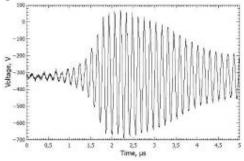


Рис. 1. Эквивалентная электрическая схема для обнаружения перехода разряда в автоколебательный режим: 1 - вакуумная камера, 2 - коллектор электронного пучка, 3 - плазма, 4 - пояс Роговского

Рис. 2. Сигнал напряжения в цепи коллектора электронного пучка в момент перехода ППР в автоколебательный режим

В качестве источника паров воды использовался калиброванный термохимический источник (ТХИПВ) [1, 3]. Рабочая точка в эксперименте в области ОДС ВАХ алюминиевого коллектора ($-300\,\mathrm{B}$) была подобрана в маломощном режиме горения ППР, мощность составляла 200 Вт, рабочее давление в камере $-8.4\times10^{-3}\,\mathrm{П}$ а. Спустя 48 с после включения ТХИПВ ППР переходит в АКР, при этом наблюдаются колебания потенциала коллектора и тока в измерительной цепи (рисунок 2). Поток молекул воды, приводящий к развитию автоколебаний, составляет $10^{16}\,\mathrm{молекуn/c}$. Включение ТХИПВ в течение эксперимента приводит к незначительному увеличению давления в камере на уровне $\Delta P = 10^{-4}\,\mathrm{\Pi}$ а. Появление линий Ar II в оптическом спектре излучения плазмы свидетельствует о значительном увеличении энергосодержания плазмы шнура при переходе разряда в АКР.

Эксперименты показывают, что описанный метод регистрации колебаний может с успехом применяться для быстрой индикации появления микротечей воды системы охлаждения ТЯУ или поступления кислородосодержащих соединений в вакуумную камеру физических установок в соответствии с требованиями ИТЭР (< 10¹⁶ молекул/с).

Работа выполнена за счет средств гранта РНФ №14-12-00784.

Список литературы:

- [1] Voronov G. S., Berezhetskii M. S., Bondar Y. F., et.al // Plasma Phys. Rep. 2013. V. 39, No. 4. PP. 277-288.
- [2] Gutorov K. M., Vizgalov I. V., Markina E. A., Kurnaev V.A. // Bull. RAS: Physics. 2010. V. 74. No. 2. PP. 188-191.
- [3] Kurnaev V., Afonin O., Antipenkov, et al. // Fus. Eng. Des. 2013. V. 88. No. 6-8. PP. 1414-1417.

4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ И ЕЁ КОМПОНЕНТОВ С ВЕЩЕСТВОМ

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УДАЛЕНИЯ ПЕРЕНАПЫЛЕННЫХ БОР-УГЛЕРОДНЫХ СЛОЕВ

А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.Н. ВОЙТЮК, В.П. ТЕРЕНТЬЕВ

В настоящее время ведутся работы по разработке возобновляемого защитного покрытия из карбида бора для вольфрамовых диверторов ИТЭР, восстановление которого возможно in situ в регулярном разряде. Однако необходимым условием использования возобновляемых покрытий является возможность удаления из термоядерных установок продуктов их эрозии, что предотвратит их накопления в установках, формирование пыли, аккумуляцию в них трития и т.п. На данный момент нет эффективного способа удаления перенапыленных бор-углеродных слоев, поэтому данная работа посвящена разработке таких методов.

Исследовались возможность газификации бор-углеродных слоёв в процессе их взаимодействия с кислородно-озоновой смесью и при взаимодействии с газоразрядной плазмой на рабочем газе, состоящем из кислорода, этанола и в ряде случаев гелия.

В экспериментах использовались переосажденные бор-углеродные слои, которые были получены путем осаждения на подложку из нержавеющей стали 12X18H10T продуктов распыления ионами из аргон-дейтериевой плазмы мишени с нанесенным на ней слоем карбида бора. Давления аргона и дейтерия были одинаковы и составляли $7x10^{-4}$ Торр. Пленки с разным соотношением бора к углероду получались за счет распыления мишени с разной степенью покрытия карбидом бора.

Была измерена скорость газификации пленок с разным содержанием бора (температура 250 °C, концентрация озона в смеси 10%, давление смеси 1 атм): при B/C = 0.7 - 45 нм/ч, B/C = 1.1 - 14 нм/ч, B/C = 1.4 - 6 нм/ч, B/C = 2.1 - 4 нм/ч (скорость газификации углеграфитового композита при тех же параметрах — 15 мкм/ч). Видно, что скорость газификации уменьшается с ростом концентрации в нём бора. Необходимо отметить, что при удалении пленки происходит не только удаление углерода, но и бора.

Второй метод заключался в травлении пленок в плазме, содержащей кислород и этанол. Для этих экспериментов использовались пленки с соотношением B/C = 3.7±0.3. Было проведено несколько серий экспериментов: в зависимости от температуры (от 125 до 250 °C. максимальная скорость – 130 нм/час при 150 °C, давление кислорода – 0.8×10^{-3} Торр, гелия – 6×10^{-3} Торр, спирта - 1×10^{-3} Торр, ионный поток 1×10^{16} ион/см²с, энергия ионов 200 эВ/ион), в зависимости от давления спирта (от 0 до 2×10⁻³ Торр, максимальная скорость – 175 нм/час, давление кислорода -0.4×10^{-3} Торр, гелия -2×10^{-3} Торр, температура 150 °C, ионный поток 1×10^{16} ион/см²с, энергия ионов 200 эВ/ион). При разряде на смеси спирта и кислорода (давление кислорода 0.5×10^{-3} Topp, спирта -1×10^{-3} Topp, температура 150 °C) была измерена скорость удаления при разном ионном токе $(0.6 \text{ и } 1 \times 10^{16} \text{ ион/см}^2\text{с, при энергии ионов } 200 \text{ эВ})$ и при разной энергии (150 и 200 эВ, при токе 0.5 мА/см²). Скорость газификации слоя оказалась практически одинаковой при разном ионном токе, а при уменьшении энергии с 200 до 150 эВ газификация слоя происходила почти в два раза медленнее. Максимальная скорость удаления составляла 230±40 нм/час и была получена при разряде без гелия, при давлении кислорода 0.5×10^{-3} Topp, спирта 1×10^{-3} Topp, температуре 150 °C, ионном токе $1x10^{16}$ ион/см²с и энергии ионов 200 эВ/ион.

Таким образом, в работе предложено и опробовано два метода удаления перенапыленных бор-углеродных пленок. Первый метод показывает низкую скорость газификации при высоком содержании бора (и высокую скорость газификации углеродных материалов), но позволяет удалять пленки из щелей. Второй показывает более высокую скорость, но является плазменным методом и, скорее всего, не применим для удаления пленок из щелей без дальнейшей доработки.

ЗАХВАТ ДЕЙТЕРИЯ В ЦИРКОНИЙ С ПОВЕРХНОСТНЫМ ОКСИДНЫМ СЛОЕМ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ АТОМАМИ ДЕЙТЕРИЯ С ТЕПЛОВЫМИ ЭНЕРГИЯМИ

А.Е. ЕВСИН, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.С. КАПЛЕВСКИЙ

Изучение механизмов, регулирующих водородный обмен между металлом с окисленным поверхностным слоем и внешней средой, и особенно тех из них, которые включают в себя облучение атомными частицами, актуально как с фундаментальной точки зрения, так и для решения прикладных задач. Одной из таких проблем является наводороживание циркониевых компонентов активной зоны легководного реактора. В данной работе методом термодесорбционной спектрометрии исследовались закономерности захвата дейтерия в циркониевый сплав Э110 (Zr-1%Nb) с поверхностным оксидным слоем при облучении атомами дейтерия с тепловыми энергиями.

Было проведено две серии экспериментов — выдержка в газовой среде и облучение атомами дейтерия с тепловыми энергиями. Длительность каждого эксперимента составляла 3 ч, температура образца поддерживалась на уровне 600 К. Давление кислорода при газовой выдержке в различных экспериментах составляло $(1.2 \div 3.6) \times 10^{-2}$ Па, ряд экспериментов проводился в смеси кислорода и дейтерия, давление дейтерия составляло 1.2×10^{-1} Па. Облучение образцов атомами дейтерия с тепловыми энергиями проводилось при следующих параметрах. Рабочий газ — смесь газов $D_2+(0\div 30)\%O_2$, давление дейтерия 1.2×10^{-1} Па, расчетная плотность потока атомов дейтерия $\sim 1 \times 10^{15}$ см $^{-2}$ с $^{-1}$, расчетная доза облучения $\sim 1.1 \times 10^{19}$ см $^{-2}$.

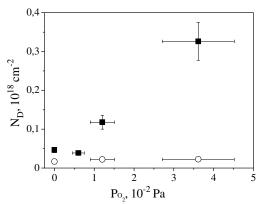


Рис. 1. Десорбция дейтерия из образца Э110 после облучения атомами дейтерия (■) и после выдержки в газе (○) в зависимости от парциального давления кислорода

Эксперименты показали (рис. 1), полная десорбция дейтерия, что захваченного в цирконий в процессе В дейтериево-кислородной газовой смеси при температуре 600 К в слабо течение 3 ч зависела парциального давления кислорода. В то время доля атомов дейтерия. десорбировавшихся в составе молекул HDO, увеличивалась с ростом давления кислорода в рабочем газе.

Десорбция атомов дейтерия, захваченных В процессе облучения пиркония **D**-атомами тепловыми c энергиями в дейтериевой атмосфере, в 2 раза превышала аналогичную величину в газе в ДЛЯ выдержки TOM температурно-временном режиме. Захват

дейтерия при атомарном облучении более выгоден, поскольку не требует энергии на диссоциацию.

Напуск кислорода в рабочий газ при облучении циркония D-атомами с тепловыми энергиями привел к значительной интенсификации захвата дейтерия. Она могла быть вызвана увеличением числа оборванных связей O- на поверхности, что, с одной стороны, приводит к адсорбции D-атомов на оборванных связях O-, а с другой стороны, ускоряет поверхностную диссоциацию молекул D_2 с последующим захватом атомов дейтерия.

Также было обнаружено, что в процессе охлаждения циркониевого образца после облучения D-атомами в дейтериево-кислородной газовой смеси создаются поверхностные состояния Zr-D(H). Причем образование $\sim 75\%$ этих состояний было результатом диссоциации D_2 на оксиде циркония после облучения, остальные были образованы с участием изотопов водорода из нижележащих поверхностных слоев.

ВЛИЯНИЕ, ЭРОЗИЯ И ОСАЖДЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ В ДИВЕРТОРЕ ЈЕТ В ПЕРИОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ КАМПАНИИ 2011-2012 ГОДОВ

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

*Институт 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 ЈЕТ (Великобритания) была полностью заменена на ИТЭР-подобную, состоящую из бериллиевых и вольфрамовых тайлов (до этого стенка была покрыта углеродными тайлами). В этой работе методом обратного Резерфордовского рассеяния (ОРР) были проанализированы распределения зон эрозии и осаждения в диверторе токамака ЈЕТ в кампании 2011-2012 годов. Эрозия и осаждение в диверторе ЈЕТ изучалось при помощи образцов, вырезанных из поверхностей тайлов 0, 1, 3, 4, 6, 7, 8 дивертора (рис 1). Тайлы были выполнены из углеродного композита СРС и покрыты толстым слоем вольфрама, на который был нанесён слой молибдена, в свою очередь покрытый маркерным слоем вольфрама.

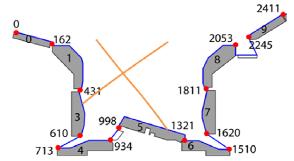


Рис.1. Схема дивертора ЈЕТ с номерами тайлов и координатами их границ

Распределения количества осаждённого бериллия, углерода и дейтерия по поверхности внутреннего и внешнего диверторов, а также сравнение толщин маркерных слоёв вольфрама до и после экспериментальных кампаний представлены на рисунке 2.

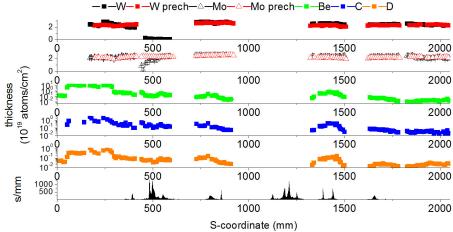


Рис.2. Распределение эрозии вольфрама и осаждения углерода, бериллия и дейтерия, а также положение страйк-поинта в диверторе токамака JET

Среди основных результатов можно выделить осаждение толстых слоёв сложной структуры на тайлы № 0 и 1 внутреннего дивертора, в особенности на их горизонтальную верхнюю поверхность (общее количество Ве, обнаруженного в диверторе после кампании – 52 г, С –12 г, D – 0.9 г.). Как и ранее, эрозия на тайлах 4, 6, 7, 8 обнаружена не была. Обнаружена эрозия покрытия на тайле №3, чего не наблюдалось в углеродных кампаниях.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ДЕЙТЕРИЯ В БЕРИЛЛИИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МОШНЫМИ ИМПУЛЬСНЫМИ ПОТОКАМИ ПЛАЗМЫ

В.С. ЕФИМОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ, И.Б. КУПРИЯНОВ * , Н.П. ПОРЕЗАНОВ *

*ОАО «ВНИИНМ им. академика А.А. Бочвара», Москва, Россия

В данной работе проводилось исследование термодесорбции дейтерия из продуктов эрозии, образующихся под действием плотных плазменных потоков, для различных марок бериллия (ТГП-56ПС и S-65С). Бериллиевые мишени, исследованные в данной работе, облучались на установке КСПУ-Ве импульсами с энергией 0.5÷1.0 МДж/м², длительность импульсов составляла 0.5 мс. Количество импульсов варьировалось для каждого материала от 10 до 100, базовая температура мишени перед импульсом составляла 500°С. При таких условиях происходит плавление поверхностного слоя бериллия, интенсивная эрозия и движение значительной массы вещества по поверхности.

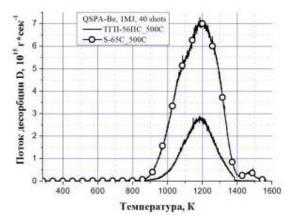




Рис. 1. Спектры термодесорбции D_2 из образцов бериллия ТГП-56ПС и S-65С после воздействия 40 импульсов дейтериевой плазмы с энергией $1\ M\mbox{Джc/m}^2$ и длительностью импульса $0.5\ \mbox{мc}$

Рис. 2. Зависимость накопления дейтерия (с учетом HD и нормировки на массу образца) в продуктах эрозии бериллия от количества выстрелов

На рис. 1 приведены ТДС спектры для двух марок бериллия ТГП-56ПС и S-65С, облученных 40 выстрелами. Можно видеть, что газовыделение дейтерия происходит в диапазоне температура 800 – 1400 К. Максимум газовыделения для всех образцов находится вблизи температуры 1200 К. На спектрах для образцов марки S-65С более выражена «низкотемпературная» часть спектра 800÷1100 К, в этом диапазоне обычно наблюдается дополнительный пик или плечо на спектрах термодесорбции. Газовыделение из образцов марки ТГП-56ПС в большей степени сконцентрировано вблизи максимума газовыделения, и «низкотемпературная» часть спектра 800÷1100 К значительно меньше выражена. Поэтому можно предположить наличие дополнительных ловушек или заметно большую концентрацию ловушек определенного типа в образцах марки S-65С.

На рис. 2 представлены данные о накоплении дейтерия, нормированные на массу образцов, для экспериментов с базовой температурой облучения $500\,^{\circ}$ С. Несмотря на значительный разброс данных, связанный с историей передвижения образца по поверхности и изменения температуры в ходе облучения, можно видеть, что накопление дейтерия в образцах марки S-65C всегда больше, чем в образцах марки ТГП-56ПС. В среднем накопление дейтерия в образцах марки S-65C в три раза больше. Концентрация дейтерия в продуктах эрозии бериллия, рассчитанная из плотности бериллия $1.85\,$ г/см 3 , составила для различных образцов D/Be = $10^{-5} \div 10^{-4}$.

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛИТИЙ-ДЕЙТЕРИЕВЫХ ПЛЕНОК С АТМОСФЕРНЫМИ ГАЗАМИ

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

Данная работа является продолжением работы [1] и посвящена более детальному изучению соосаждения дейтерия и лития, а также изучению взаимодействия полученных пленок с отдельными атмосферными газами (азот, пары воды) с целью выявления механизмов низкотемпературной десорбции дейтерия.

Образец с осажденной литий-дейтериевой пленкой выдерживался при повышенном давлении (порядка 10^{-3} мБар) паров воды в камере осаждения. Напуск паров воды производился при помощи термохимического источника, основанного на гидроксиде кальция. Источник основан на разложении $Ca(OH)_2$ на CaO и H_2O .

Активный выход дейтерия при напуске паров воды наблюдался уже в камере напыления при напуске паров воды (рис. 1). Интенсивное газовыделение обусловлено тем, что взаимодействие в такой конфигурации происходит не только с пленкой на образце, но и с пленками лития на стенках камеры. Выход дейтерия происходил как в виде молекул водорода (HD, D_2), так и в составе молекул тяжёлой воды (HDO, D_2 O).

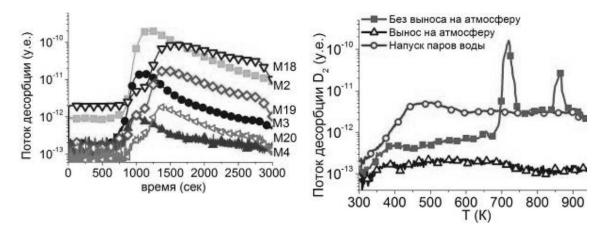


Рис.1. Взаимодействие литий-дейтеривых пленок с парами воды

Рис.2. Сравнительный график ТДС-спектров 4^{ou} массы для экспериментов с выдержкой образцов в парах воды (30 мин), на атмосфере (3 дня) и без выдержки

Можно видеть, что особенно на начальной стадии происходит активная сорбция водяных паров и интенсивное газовыделение водорода и дейтерия, что говорит об активной реакции на поверхности. По истечении 30 минут газовыделение дейтерия практически прекратилось, что говорит об очень интенсивном газовыделении.

После выдержки в парах воды образец был перемещен в камеру ТДС. На рис. 2 приведен сравнительный график ТДС-спектров 4^{ой} массы в экспериментах сразу после осаждения, с выносом на атмосферу на 3 дня и с выдержкой в парах воды в течение 30 минут. Можно видеть, что даже кратковременное взаимодействие с парами воды удаляет практически весь дейтерий, уходят все характерные пики, однако часть дейтерия, по всей видимости, остается.

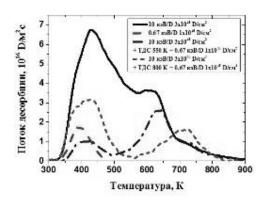
Список литературы:

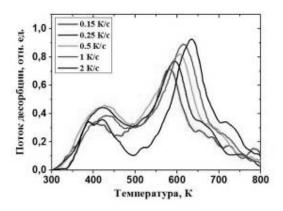
[1]. Krat S. A., Gasparyan Yu. M., Popkov A. S., Pisarev A. A. // Vacuum. 2014. V. 105. PP. 111-114.

ТЕРМОДЕСОРБЦИЯ ДЕЙТЕРИЯ ИЗ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ВОЛЬФРАМЕ

С.А. РЯБЦЕВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, М.С. ЗИБРОВ, А.А. ПИСАРЕВ

Работа была посвящена определению энергии выхода дейтерия из дефектов в вольфраме. Для этого на установке «МЕДИОН» было проведено несколько серий экспериментов по термодесорбции дейтерия из вольфрама с разными скоростями нагрева. В качестве образца использовалась поликристаллическая вольфрамовая фольга толщиной 25 мкм, отожженная в вакууме при температуре 1800 К в течение 30 минут с целью минимизации содержания в ней производственных дефектов. Точечные дефекты в образце создавались с помощью его облучения масс-сепарированным пучком ионов D^+ с энергией 10 кэВ до дозы 3×10^{19} D/м². Далее для удаления захваченного дейтерия образец нагревался и выдерживался при различных температурах – в одной из серий до 550 К, при которой предположительно не происходит объединение вакансий в кластеры, в другой серии до 800 К для обеспечения кластеризации дефектов. Затем производилось т.н. «наполняющее» облучение ионами D_3^+ с энергией 2 кэ \bar{B} до дозы 1×10^{19} D/м², после чего проводилась термодесорбционная спектроскопия с различными скоростями нагрева: от 0.15 до 4 К/с.





вольфрама, облученного в различных условиях

Рис. 1. Спектры термодесорбции дейтерия из Рис. 2. Спектры термодесорбции дейтерия из дефектов для разных скоростей нагрева

На рис. 2 представлены спектры термодесорбции дейтерия из дефектов для разных скоростей нагрева β для серии с выдержкой при температуре 550 К после повреждающего облучения. Для каждого значения β было определено положение второго пика десорбции T_m , и строился график зависимости β/T_m^2 от $1/T_m$ в полулогарифмическом масштабе. Полученная зависимость аппроксимировалась прямой линией, по наклону которой определялась энергия активации выхода водорода из вакансий (или кластеров вакансий) в вольфраме. Значение энергии выхода дейтерия из вакансий в вольфраме составило $E_{dt} = 1.55 \pm 0.04$ эВ.

Аналогичным образом для других серий экспериментов были найдены значения энергии выхода дейтерия двух других пиков. Пик при температуре 700-750 К, предположительно соответствующий вакансионным кластерам: $E_{dt} = 1.96 \pm 0.09$ эВ (для серии с экспонированием поврежденного образца при 800 К) и низкотемпературный пик вблизи 400 К: $E_{dt} = 0.96 \pm 0.02$ эВ (для серии без повреждающего облучения).

ОСАЖДЕНИЕ ПЛЕНОК И ИХ УДАЛЕНИЕ В ЩЕЛЯХ И ЗАТЕНЕННЫХ ОТ ПЛАЗМЫ ОБЛАСТЯХ В ПРИСУТСТВИИ ВЧ-ПОЛЕЙ

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

Изучение осаждения примесей в щелях и затененных от плазмы областях и возможности их очистки проводилось в линейном симуляторе с пучково-плазменным разрядом ПР-2. Была подготовлена сборка, представляющая собой набор медных пластин и прокладок, формирующих щели пяти различных длин 0.5-1-1.5-2-2.5 см при одинаковых толщине 0.3 мм и ширине 1 см. Размеры щелей выбирались исходя из характерных зазоров вольфрамовых сборок дивертора ИТЭР, разборная конструкция позволяет исследовать внутреннюю поверхность щелей. Один участок сборки был открыт для облучения плазмой, другой был заэкранирован от плазмы медной фольгой (рис. 1).

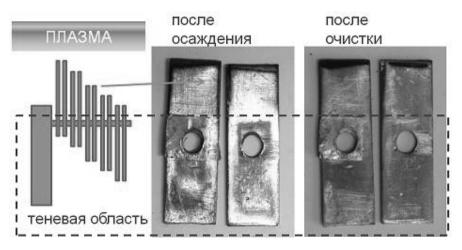


Рис. 1. Схема эксперимента и фотографии образующих щель пластин после осаждения пленки и ее очистки

Сборка вводилась в периферийную область разряда установки ПР-2. Вместе со сборкой на одном вводе размещался образец графита, который вводился непосредственно в плазменный шнур разряда так, что происходило его интенсивное испарение и распыление в разряде в водороде в режиме с генерацией высокочастотных сильноточных колебаний, что обеспечивало присутствие ВЧ полей в области сборки.

По завершении осаждения сборка со щелями была извлечена из установки для проведения детального анализа осажденных слоев. Был проведен анализ поверхности образцов с использованием сканирующего электронного микроскопа и анализ состава поверхности образцов с использованием рентгеноструктурного микроанализа. Толщина осажденных пленок составила от 0.65 до 2.1 мкм.

После анализа пластины были собраны обратно в сборку и помещены для очистки в установку ПР-2. Очистка проводилась в режиме автоколебательного разряда в атмосфере кислорода в течение 2 часов. По окончании очистки сборка была извлечена из установки и проведен повторный анализ пленок в щелях. Хорошо заметно, что щели очистились от пленок (рис. 1), толщина осажденных на открытых участках примесей также значительно снизилась. Толщина оставшихся пленок составляет порядка 0.2 мкм.

Достигнуты очень хорошие результаты по очистке пленок в щелях, в том числе и в затененных от плазмы областях, толщина пленок снижена в 3-7 раз. Экспериментально показано, что за 2 часа облучения можно счистить до 1.7 мкм пленки. Такой результат позволяет рекомендовать метод очистки в разряде в кислороде с присутствием ВЧ полей у стенки для очистки затененных областей.

ИЗОТОПНЫЙ ОБМЕН ВОДОРОДА В БЕРИЛИИ

Д. КОГУТ 1 , Д. ДУЭЙ 2 , М. БЭЛДВИН 3 , Р. ДОРНЕР 3 , Д. СИНЕЛЬНИКОВ, Н. МАМЕДОВ, В. КУРНАЕВ, Х. БЕККЕР 4 , Т. ШВАРЦ-СИЛЕНГЕР 5

¹Aix-Marseille Université, CNRS, PIIM, UMR 7345, 13013 Marseille, France

²CEA Cadarache, IRFM, 13108 St. Paul lez Durance, France

³UCSD, Center for Energy Research, 9500 Gilman Drive, La Jolla, CA 92093-0417, USA

⁴Ruhr-Universität Bochum, RUBION, D-44801 Bochum, Germany

⁵Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, D-85748 Garching, Germany

Изотопный обмен при кондиционировании стенок токамака позволяет достаточно эффективно удалять тритий за счет замены на дейтерий, содержащийся в плазме разряда [1]. Однако механизм, приводящий к изотопному обмену водорода, на микроскопическом уровне еще недостаточно хорошо изучен для случая взаимодействия частиц с бериллием и в литературе отсутствуют модели, описывающие этот процесс. Для понимания процессов взаимодействия между изотопами водорода и бериллиевым покрытием создана одномерная модель диффузионного захвата при изотопном обмене в бериллии (1D Diffusion Trapping Model of Isotopic eXchange in Be - DITMIX). Результаты распределения водорода, полученные в коде DITMIX, хорошо согласуются с результатами эксперимента, в котором вольфрамовые образцы, покрытые пленкой Ве-Н толщиной 600 нм облучались ионами дейтерия с определенными дозами и энергиями для разных температур поверхности при облучении (27 и 100 °C), а после облучения содержание водорода и дейтерия исследовались методом ядерных реакций.

Облучение образцов дейтерием дозами 10^{20} и 10^{21} D/м 2 с энергией 5 кэВ на дейтрон производилось на установке Большой масс-монохроматор МИФИ. Такое значение энергии позволяло производить облучение ионами D_2^+ с энергией 10 кэВ, что позволяло достичь приемлемой скорости облучения за счет высокой интенсивности тока при данной энергии ионного пучка. Выбор энергии в 5 кэВ на дейтрон позволяет достичь глубину имплантации ионов \sim 120 нм, что оптимально для анализа поверхности методом ядерных реакций. Образцы закрывались диафрагмами при облучении, что обеспечивало равномерное распределение плотности тока в облучаемой зоне диаметром \sim 4 мм.

Результаты анализа поверхности методом ядерных реакций показали качественное согласие количества дейтерия с результатами расчета в коде DITMIX: с ростом дозы облучения дейтерием наблюдается существенный рост захваченного дейтерия бериллиевым покрытием. Фактически в образце сохраняется 70-90% имплантированного дейтерия. В случае облучения нагретой до 100 °С поверхности наблюдается более интенсивное удаление водорода по сравнению с ненагретой поверхностью, что также хорошо согласуется с моделью. Таким образом, ключевыми факторами при изотопном обмене являются как доза облучения, так и температура, достаточная для активации этого процесса.

Список литературы:

[1]. D. Douai et al. // J. Nucl. Mater. 2014. doi:10.1016/j.jnucmat.2014.12.034

ИСПЫТАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАКЕТА КОНВЕРТЕРА НЕЙТРАЛОВ ДЛЯ ПРИБОРА АРИЕС-Л

Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, <u>Д.В. КОЛОДКО</u>, В.А. КУРНАЕВ, Н.В. МАМЕДОВ, <u>Н.А. СОЛОВЬЕВ</u>

Проводилось испытание эффективности работы конвертера нейтральных частиц для прибора АРИЕС-Л в рамках проекта ЛУНА-РЕСУРС проводились на установке "Большой масс-монохроматор МИФИ" (БММ), позволяющей получить пучок нейтральных частиц за счет перезарядки на золотой мишени положительных ионов водорода. Тем самым имитировался поток частиц, возникающий при облучении солнечным ветром лунного реголита. Схема испытаний конвертора приведена на рис. 1.

Выбор рабочих потенциалов на обкладках конвертера показал, что оптимальным для интенсивности выходного сигнала является соотношение потенциалов на обкладках $U_{\rm внутр}$.= $^1/_2U_{\rm внеш}$, а не $U_{\rm внутр}$.= $^1/_3U_{\rm внеш}$, как это предполагалось из расчетов. Также было установлено, что уровень сигнала на ВЭУ изменяется при различных потенциалах на обкладках конвертера не более чем на 30% от максимального значения, что свидетельствует о значительном вкладе нейтралов в потоке регистрируемых ВЭУ частиц.

При испытаниях для различных энергий пучка нейтралов установлено, что интенсивность сигнала существенно падает с уменьшением энергии первичного пучка. Так

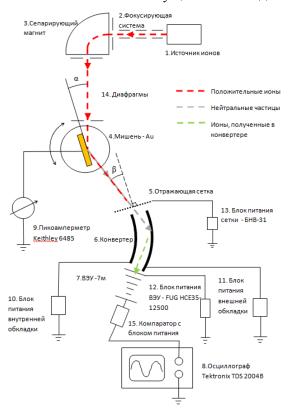


Рис. 1. Схема испытаний конвертера

при уменьшении энергии первичного пучка в 5 раз (с 1000 эВ до 200 эВ) интенсивность счета на ВЭУ падает в более чем 30 раз.

Проведена проверка эффективности конвертера В зависимости работы интенсивности потока нейтралов по нормали к входному окну при энергии 1 кэВ. При уменьшении тока ионов на мишень, было установлено, что скорость счета импульсов выходе конвертера омкип пропорциональна интенсивности потока нейтралов. При токе пучка на мишень 1.5 µА и, соответственно, интенсивности потока нейтралов на входное окно конвертера 1.8×10^{10} с⁻¹ на выходе конвертера было получено 1.4×10^5 с⁻¹. Таким образом, при интенсивности солнечного ветра поверхности Луны 3×10⁸ ионов/см²сек поток выбитых им с поверхности частиц в окно $10^4 \, \mathrm{c}^{-1}$ конвертера можно оценить скорость счета согласно испытаниям составит несколько импульсов в 10 секунд.

Проведено испытание работы конвертера для различных масс нейтралов (водород, гелий, аргон), которыми освещалось его входное окно. Скорость счета

на выходе снижалась по мере увеличения массы: 3×10^4 с⁻¹ для водорода, 1×10^4 для гелия и 4000 для аргона при энергии 1 кэВ и одинаковом токе на мишень. Данный результат согласуется с результатами моделирования.

5. ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

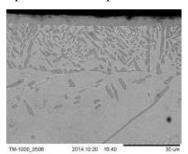
АЗОТИРОВАНИЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ-23 В АНОМАЛЬНОМ ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

Ю.В. БОРИСЮК, Н.М. ОРЕШНИКОВА, А.В. ТУМАРКИН, М.А.БЕРДНИКОВА, Г.В. ХОДАЧЕНКО, А.А. ПИСАРЕВ

Титан и его сплавы широко используются в промышленности и медицине. Эти сплавы характеризуются низким удельным весом, высокой коррозионной стойкостью и биосовместимостью. Тем не менее, низкая твердость и износостойкость ограничивает применение этих материалов. Азотирование является одним из вариантов улучшения износостойкости титановых сплавов. Титановый сплав ВТ-23 имеет высокую прочность и коррозионную стойкость, и его широко применяют в промышленности при средних и высоких температурах. Исследования по модификации поверхности сплава ВТ-23 в аномальном тлеющем разряде проводились на экспериментальной установке «АТР» НИЯУ МИФИ.

Перед азотированием образцы подвергались очистке в плазме тлеющего разряда (Аг; 0.5-0.8 мбар; 15-30 минут). Азотирование проводилось при температурах 500, 600, 700, 800, 900 °С в смеси, состоящей из $50 \pm 10\%$ Ar + $50 \pm 10\%$ N₂ при давлении 3-4.5 мбар в течение 3-4 часов.

На рисунке 1 и 2 представлены изображения поверхностей шлифов для образца, обработанного при 900°С, и образца до обработки. Изображение получено с помощью РЭМ.



Puc. 1. Образец BT-23, обработанный температуре 900 °С

при

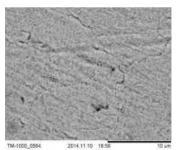
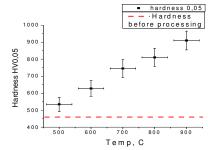


Рис. 2. Образец ВТ-23 до Рис. обработки.



3. График зависимости твердости поверхности образцов от температуры их обработки.

Из графика зависимости твердости поверхности образцов от температуры обработки (рис. 3) видно, что даже при обработке при 500 °C твердость материала повышается по сравнению с неазотированным образцом. Также видно, что в данном диапазоне температур твердость поверхности растет с ростом температуры.

В результате экспериментов обнаружено, что при обработке данного титанового сплава при высокой температуре порядка 900°C образец приобретает золотой цвет, что характерно для нитрида титана, а также наблюдается образование зоны внедрения нитридов (~ 30 ÷ 50 мкм) и зоны плотных нитридов (~ 5 мкм). При этом твердость на поверхности образца увеличилась и составляет примерно $820~{\rm HV}_{0.5}$, что примерно в 1,7 раза больше твердости исходного образца. Повышение твердости также наблюдалось при всех исследуемых температурах, в том числе и при низкой температуре 500 °C. Твердость уменьшается с глубиной. Было обнаружено, что на больших глубинах твердость была в 1.2 раза меньше, чем твердость необработанного образца. Рентгеноструктурный анализ показал сложный фазовый состав, состоящий в основном из α -Ti и TiN_{1-x} со следами ω -Ti, TiO₂, ϵ -TiN, и Ti₂N. Сложность фазового состава обусловлена сложностью исходного состава, неравномерностью распределения концентрации азота по глубине и неравновесными условиями воздействия плазмы.

ПЛАЗМЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ПОРИСТОГО УГЛЕРОДНОГО ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЕМКОСТИ СУПЕРКОНДЕНСАТОРА

Г.М. ТАРАСЮК, А.А. ПИСАРЕВ

В работе было проведено исследование влияние плазменной обработки на изменение физических и электрохимических свойств электродного материала. Эксперименты проводились на установке «Магнетрон-1». В качестве исходного электродного материала использовался промышленный материал, производства Norit DLS Supra 30, из которого изготавливаются электроды наборных суперконденсаторов. Материал представляет ленту, состоящую из смеси активированного угля, электропроводящего наполнителя и полимерного связующего. Емкость исходного материала составила 120 Ф/г для водного электролита. Обработка углеродного материала происходила в азотной плазме.

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. Больший размер сепаратора необходим для минимизации токов утечки по краям. Перед сборкой электроды и сепаратор пропитывались водным электролитом. 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, проходили при различных скоростях изменения напряжения на ячейке.

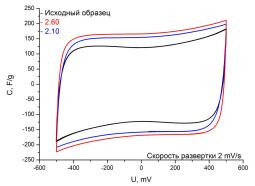


Рис. 1. Вольт-фарадные циклические кривые электрода из пористого наноструктурированного углерода в 0.5 молярном растворе H_2SO_4 при скорости развертки 2 мВ/с: черная кривая - исходный образец; синяя кривая — образец, обработанный в течение 10 минут; красная кривая — образец, обработанный в течение 60 минут

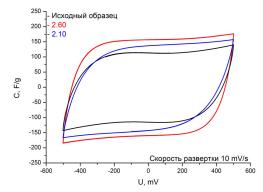


Рис. 2. Вольт-фарадные циклические кривые электрода пористого из наноструктурированного *углерода* 0.5 молярном растворе H_2SO_4 npu скорости развертки 10 мВ/с: черная кривая - исходный образец; синяя кривая – образец, обработанный в течение 10 минут; красная кривая – образец, обработанный в течение 60 минут

Электрохимические измерения электродов показали увеличение удельной массовой емкости образцов в области средних напряжений до 50%.

6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПРИБОРЫ

УСТАНОВКА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ КАРБИДА БОРА И ТЕСТИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ИНТЕНСИВНЫМИ ТЕПЛОВЫМИ НАГРУЗКАМИ

А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, О.И. БУЖИНСКИЙ^{*}, А.В. ГРУНИН, А.А. ГОРДЕЕВ, А.М. ЗАХАРОВ, А.М. КАЛАЧЕВ, Я.А. САДОВСКИЙ, П.А. ШИГИН

* ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Троицк, Россия

В работе представлена новая установка, предназначенная для нанесения покрытия карбида бора на различные подложки, а также способная подвергать материалы электронным и ионным нагрузкам с плотностью мощности до 40 МВт/м².

В вакуумной камере (1) установки расположена плазменная камера (2) с накальными катодами (3) и кольцеобразным анодом (4). Анод установлен на подвижном вводе (5). Ионы из плазмы вытягиваются на распыляемые мишени из графита (6) и бора (7), также установленные на подвижных вводах (8,9). Для подавления тока вторичных электронов с мишеней предусмотрены антидинатронные электроды (10,11) на подвижных вводах (12,13). Распыленные атомы мишеней осаждаются на подложку (14), установленную на подвижной трубе (15), вводимой через ввод Вильсона (16). Потоки распыления с мишеней возможно варьировать, меняя потенциалы на мишенях, их взаимное расположение относительно анода, и меняя ток разряда. Для подачи напряжения на мишени был спроектирован и изготовлен высоковольтный блок, способный в автоматическом режиме поддерживать напряжение до 25 кВ при токах до 150 мА. Управление вакуумной и силовой частью установки полностью автоматизировано.

В режиме тестирования материалов узел мишеней заменяется охлаждаемым медным столиком, на котором закреплены тестируемые образцы. Подавать на столик можно как положительное, так и отрицательное смещение, осуществляя соответственно облучение либо электронами, либо ионами. Режим облучения может быть циклическим, с циклами частотой до 100 Гц и любым заполнением. Размер облучаемой области варьируется путем изменения положения столика относительно анода и изменением тока плазмы и вытягивающего потенциала. Максимальная мощность ионного или электронного пучка — 4 кВт. Возможна фокусировка пучка в пятна малых размеров, что позволяет получает плотности мощности, характерные для дивертора ИТЭР (20-40 МВт/м²) и выше.

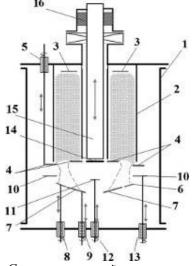


Рис. 1. Схема вакуумной камеры установки напыления покрытий и тестирования

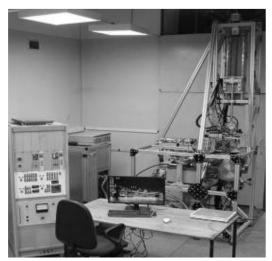


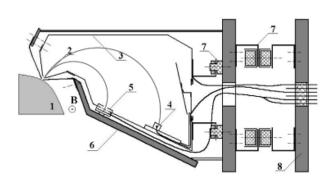
Рис. 2. Общий вид установки напыления покрытий и тестирования материалов

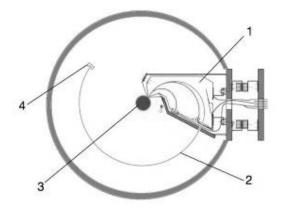
КОМБИНИРОВАННЫЙ АНАЛИЗАТОР ИОННОГО СОСТАВА ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЫ

О.А. БИДЛЕВИЧ, И.В. ВИЗГАЛОВ, И.А. СОРОКИН

На установку PSI-2 (Юлих, Германия) установлен разработанный в МИФИ анализатор ионного состава плазмы, основанный на классической схеме масс-сепаратора Демпстера, использующий собственное магнитное поле установки. Анализатор представляет собой комбинированный прибор и имеет дополнительное оборудование для контроля параметров плазмы разряда (одиночный зонд Ленгмюра), величины магнитного поля и температуры корпуса анализатора (рисунок 1).

Для расширения рабочего диапазона регистрируемых масс предложена конструкция комбинированного двухступенчатого масс-анализатора, состоящего из статической и магнитно-пролетной ступени (рисунок 2).





Puc. 1. Статический масс-анализатор. 2 - ускоряющий плазменный столб; промежуток; 3 - дисперсионный сегмент; 4 коллектор в виде проволочки; 5-низковольтный 3 - плазменный столб; 4 - коллектор для коллимированный коллектор; 6 - корпус головки; 7 - держатели с керамическими изоляторами; 8 фланец плазменной установки

Рис. 2. Комбинированный масс-анализатор. 1 - статическая ступень; 2 - траектория ионов импульсной бескорпусной ступени; тяжелых ионов; 5 - вакуумная камера

Принципиальным преимуществом такого анализатора является отсутствие теоретического ограничения максимальной детектируемой массы ионов. Легкие ионы (М < 10 а.е.м.) хорошо разрешаются в статической ступени. Принципиально низкое разрешение статического масс-анализатора в области средних и тяжелых ионов (М > 10 а.е.м.) может быть преодолено в комбинированном масс-анализаторе за счет добавления импульсной ступени, использующей время-пролетный принцип разделения ионов, двигающихся по одной траектории, но с разными скоростями. Для этого нужно настроиться с помощью статического анализатора на неразделенный участок спектра, тогда с помощью импульсной ступени получим разделение тяжелых ионов по времени пролета.

Проведены испытания отдельно импульсной ступени на установке ПР-2 (НИЯУ МИФИ). Была собрана тестовая модель масс-анализатора для получения максимально возможного тока на коллектор. Достигнут режим импульсного ускорения ионов, зарегистрирован основной компонент аргоновой плазмы.

КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ИМПУЛЬСНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПЛАЗМЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

А.В. БАЛОВНЕВ, Е.Д. ВОВЧЕНКО, И.Г. ГРИГОРЬЕВА, А.С. САВЕЛОВ, Г.Х. САЛАХУТДИНОВ

Исследование пространственной структуры плазменных объектов в диапазоне рентгеновского излучения позволяет получить важную информацию об основных источниках рентгеновского излучения и понять физику процессов, происходящих в плазме.

Исследованию пространственной структуры плазмы посвящено множество работ, методика получения изображения плазменного объекта с помощью камеры-обскуры хорошо отработана. Однако получаемая информация с применением существующих детекторов регистрирующих рентгеновское излучение за камерой-обскуры не позволяет определить спектральные характеристики импульсного рентгеновского излучения из изучаемых областей плазменного объекта в необходимом объеме.

Для измерения спектра высокоинтенсивного, импульсного рентгеновского излучения из исследуемых областей плазмы был разработан и создан координатно-чувствительный детектор на основе термолюминесцентных детекторов LiF, позволяющий измерять спектр импульсного рентгеновского излучения различных источников в плазменном объекте в диапазоне энергий 1–30 кэВ с координатным разрешением порядка 2 мм [1].

Конструктивно детектор представлял собой пластину толщиной 10 мм, выполненную из стали, в которой имелись отверстия. В отверстия вставлялись сборки из десяти термолюминесцентных детекторов LiF, размер одного термолюминесцентного детектора — Ø 2 мм и высота 0.9 мм.

Для измерения спектра рентгеновского излучения в ячейке использовался метод фильтров поглощения. По информации о поглощенной энергии в различных термолюминесцентных детекторах одной сборки можно математическими методами восстановить спектр рентгеновского излучения, зарегистрированного в данном месте.

В ходе экспериментов по исследованию пространственной структуры плазменных объектов на установке типа «низкоиндуктивная вакуумная искра» [1] были получены спектры импульсного рентгеновского излучения из основных излучающих областей (плазменная точка, приэлектродная плазма, анод) плазменного объекта, полученного при сильноточном импульсном электрическом разряде.

Список литературы:

[1]. Баловнев А. В., Вовченко Е. Д., Григорьева И. Г., и др. // М.: Препринт НИЯУ МИФИ № 001-2014.

УСТАНОВКА С ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ИНДУКЦИОННЫМ РАЗРЯДОМ

М.С. ЗИБРОВ, А.В. КАЗИЕВ, Г. В. ХОДАЧЕНКО, А.В. ТУМАРКИН, Е.А. МЕЩЕРЯКОВА, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ

Для проведения экспериментов по плазменной обработке материалов была создана установка с высокочастотным индукционным разрядом. Основными преимуществами данного типа разряда с технологической точки зрения являются его безэлектродный характер (что уменьшает количество примесей в плазме), высокая степень ионизации плазмы (вплоть до нескольких процентов), возможность работы при низких давлениях (вплоть до 10^{-4} мбар), что позволяет увеличить энергию ионов, падающих на подложку, и уменьшить их разброс по энергиям.

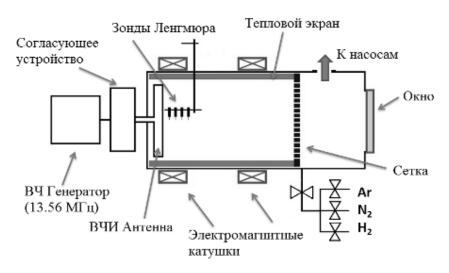


Рис. 1. Схема установки

На рис. 1 представлена схема созданной установки. Цилиндрическая вакуумная камера, выполненная из нержавеющей стали, откачивается при помощи сухого спирального и турбомолекулярного насосов до предельного остаточного давления порядка 10^{-5} мбар. Генерация плазмы осуществляется при помощи радиочастотного плазменного генератора (ВЧИ антенны) Beams&PlasmasTM РПГ-250. Антенна представляет собой плоскую медную водоохлаждаемую четырехзаходную спираль Ферма, защищенную от прямого контакта с генерируемой плазмой при помощи алюминиевого кожуха и экрана из кварцевого стекла. Подвод мощности от высокочастотного генератора (13.56 МГц) к антенне осуществляется через автоматизированное согласующее устройство. Снаружи камеры установлена система из двух электромагнитных катушек типа Гельмгольца для создания в камере продольного постоянного магнитного поля. Индукция поля может изменяться в пределах 0-80 Гс путем изменения тока в катушках. Для уменьшения тепловых нагрузок на стенки камеры в процессе работы при максимальной мощности (1 кВт), внутри камеры установлен цилиндрический тепловой экран из нержавеющей стали. С одного торца экрана находится ВЧИ антенна, а с другого установлена сетка из нержавеющей стали, ограничивающая распространение плазмы. Система напуска газа обеспечивает работу в смеси аргона, азота и водорода в любых соотношениях, требуемых для обработки. Установка оснащена системой зондовой диагностики плазмы; на одном из фланцев установлено окно из MgF2 для проведения спектроскопических измерений. Установка снабжена вводом движения, на котором располагаются образцы, подвергаемые плазменной обработке; имеется возможность подачи на образцы напряжения смещения вплоть до 1 кВ в процессе обработки.

ПЕРЕЧЕНЬ ТРУДОВ СОТРУДНИКОВ КАФЕДРЫ ЗА 2014 ГОД

Международные журналы:

- 1. S I Krasheninnikov, E D Marenkov, R D Smirnov and A A Pisarev. Hydrogen transport in solids with traps in the case of continuum distribution of detrapping energies. Physica Scripta, 2014, T159, 014060.
- M Zibrov, M Mayer, E Markina, K Sugiyama, M Betzenbichler, H Kurishita, Yu Gasparyan, O V Ogorodnikova, A Manhard and A Pisarev. Deuterium retention in TiC and TaC doped tungsten under lowenergy ion irradiation. Physica Scripta, 2014, T159, 014050.
- 3. S.I. Krasheninnikov, E.D. Marenkov. On hydrogen transport in the first wall material of fusion devices in the presence of a broadband distribution of traps over the trapping energy. Physics Letters A, Volume 378, Issue 21, 11 April 2014, Pages 1526-1530
- 4. A V Kaziev and G V Khodachenko. Optical diagnostics of low-pressure quasi-stationary diffuse discharge. Phys. Scr. 2014 014053
- А.П. Кузнецов, О.А. Бялковский, К.Л. Губский, Э.И. Додулад, Г.И. Козин, Е.Д. Проценко, А.С. Савёлов. Измерение газокинетического давления корпускулярных потоков из области микропинчевого разряда методами лазерной интерферометрии. «Физика плазмы», 2014 г., том 40, № 4, С. 359
 - (Kuznetsov, A.P., Byalkovskii, O.A., Gubskii, K.L., Kozin, G.I., Protsenko, E.D., Dodulad, E.I., Savjolov, A.S. Measurements of the gas-kinetic pressure in plasma flows emerging from a micropinch discharge by means of laser interferometry. Plasma Physics Reports, Volume 40, Issue 4, 2014, Pages 290-297)
- S.A. Krat, Yu.M. Gasparyan, A.S. Popkov, A.A. Pisarev. Deuterium release from lithium-deuterium films, deposited in the magnetron discharge. Vacuum 105 (2014) 111-114
- O.V. Ogorodnikova, Yu. Gasparyan, V. Efimov, Ł. Ciupin´ski, J. Grzonka. Annealing of radiation-induced damage in tungsten under and after irradiation with 20MeV self-ions. Journal of Nuclear Materials 451 (2014) 379–386.
- 8. Podolyako, F., Sorokin, I., Vizgalov, I., Zelenski, A., Atoian, G., Klenov, V., Studies of basic limitations on production, transport and acceleration of the high intensity polarized H- beam in the RHIC polarized ion source, Physics of Particles and Nuclei, Volume 45, Issue 1, January 2014, Pages 273-275
- 9. Zelenski, A., Atoian, G., Ritter, J., Steski, D., Podolyako, F., Sorokin, I., Vizgalov, I., Klenov, V., Zubets, V., Davydenko, V., Ivanov, A., Kolmogorov, A., The RHIC polarized source upgrade, Physics of Particles and Nuclei, Volume 45, Issue 1, January 2014, Pages 308-311
- 10. Isaev, N.V., Klykov, I.L., Peskov, V.V., Shustin, E.G., Vizgalov, I.V., Kurnaev, V.A. A plasmochemical reactor based on a beam-plasma discharge. Instruments and Experimental Techniques. Volume 57, Issue 1, January 2014, Pages 82-85.
- 11. V. I. Roldughin, V. M. Zhdanov, E. E. Sherysheva, and N. V. Pavlyukevich. On the separation factor of binary gaseous mixtures in two-layer nanoporous membranes // Colloid Journal. 2014. v.76. P. 76-84
- 12. V. V. Levdanskii, V. I. Roldugin, V. M. Zhdanov, V. Zdimal. Free-molecular gas flow in a narrow (nanosize) channel // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2014 V.87 P. 802-814
- 13. Putrik A.B., Klimov N.S Gasparyan Yu.M., Efimov V.S., et al. Plasma-facing material erosion products formed under iter-like transient loads at QSPA-T plasma gun facility. Fusion Science and Technology. Volume 66, Issue 1, July-August 2014, Pages 70-76. Kupriyanov I., Gasparyan Yu.M., et al. Study of beryllium damage under iter-relevant transient plasma and radiative loads. Fusion Science and Technology. Volume 66, Issue 1, July-August 2014, Pages 171-179.
- 14. Kupriyanov I., Gasparyan Yu.M., et al. Study of beryllium damage under iter-relevant transient plasma and radiative loads. Fusion Science and Technology. Volume 66, Issue 1, July-August 2014, Pages 171-179.
- 15. Yu A Lebedev, A V Tatarinov, A Yu Titov, I L Epstein, G V Krashevskaya and E V Yusupova. Effect of small additives of argon on the parameters of a non-uniform microwave discharge in hydrogen at reduced pressure. J. Phys. D: Appl. Phys.47 (2014) 335203 (7pp) doi:10.1088/0022-3727/47/33/335203.
- I E Berezina and I V Tsvetkov. Influence of the oblique magnetic field on the secondary electron emission from the plasma facing materials in fusion reactor. 2014 J. Phys.: Conf. Ser. 516 012025 doi:10.1088/1742-6596/516/1/012025.

- A Airapetov, L Begrambekov, S Brémond, D Douai, A Kuzmin, Ya Sadovsky, P Shigin and S Vergasov. Hydrogen retention in volumetric CFC structures. 2014 J. Phys.: Conf. Ser. 516 012026 doi:10.1088/1742-6596/516/1/012026
- Sysolyatina, E., Mukhachev, A., Yurova, M., Grushin, M., Karalnik, V., Petryakov, A., Trushkin, N., Ermolaeva, S., Akishev, Y. Plasma Processes and Polymers. Volume 11, Issue 4, April 2014, Pages 315-334.
- 19. Bashir M.F., Smolyakov A.I., Elfimov A.G., Melnikov A.V., Murtaza G. Electromagnetic effects on geodesic acoustic modes. Physics of Plasmas. Volume 21, Issue 8, 2014, 082507.
- 20. Mirnov S.V., Djigailo N.T., Dzhurik S.P., Kostina A.N., Kravchuk S.I., Lazarev, V.B., Lyublinski I.E., Nesterenko V.M., Petrov Y.V., Vertkov A.V., Zharkov M.Yu. Tests of the cryogenic target for lithium and hydrogen isotopes extraction from the chamber of T-11M tokamak without its venting. Fusion Engineering and Design. Volume 89, Issue 12, December 2014, Pages 2923–2929.
- 21. A.V. Spitsyn, A.V. Golubeva, N.P. Bobyr, B.I. Khripunov, D.I. Cherkez, V.B. Petrov, M. Mayer, O.V. Ogorodnikova, V.Kh. Alimov, N.S. Klimov, A. Putrik, V.M. Chernov, M.V. Leontieva-Smirnova, Yu.M. Gasparyan, V.S. Efimov. Retention of deuterium in damaged low-activation steel Rusfer (EK-181) after gas and plasma exposure. Journal of Nuclear Materials, 455 (2014) 561–567.
- 22. Yu Akishev, V Karalnik, I Kochetov, A Napartovich, N Trushkin. High-current cathode and anode spots in gas discharges at moderate and elevated pressures. Plasma Sources Sci. Technol. 23 (2014) 054013 (16pp)
- Strelkov P.S., Tarakanov V.P., Ivanov I.E., Shumeiko D.V. Output power variations in a plasma relativistic microwave amplifier during a 500-ns relativistic electron beam current pulse. Plasma Physics Reports. Volume 40, Issue 8, August 2014, Pages 640-649.
- 24. Sysolyatina, E., Mukhachev, A., Yurova, M., Grushin, M., Karalnik, V., Petryakov, A., Trushkin, N., Ermolaeva, S., Akishev, Y. Role of the charged particles in bacteria inactivation by plasma of a positive and negative corona in ambient air. Plasma Processes and Polymers. Volume 11, Issue 4, April 2014, Pages 315-334
- 25. Alexander Melnikov, Maria Ochando, Enrique Ascasibar, Francisco Castejon, Leonid Eliseev, Carlos Hidalgo, L Krupnik, Antonio Lopez-Fraguas, Sergey Lysenko, Pablos J de, Stanislav Perfilov, Sergei Sharapov, Donald Spong, J Jimenez, Boris Breizman, A Cappa, M Liniers and M V Ufimtsev. Effect of magnetic configuration on frequency of NBI-driven Alfvén modes in TJ-II Nuclear Fusion, 54 (2014) 123002 (11pp),
- 26. V.N. Zenin, A.V. Melnikov, L.G. Eliseev, A.S. Kozachek, L.I. Krupnik, S.E. Lysenko and S.V. Perfilov. STUDY OF POLOIDAL STRUCTURE OF GEODESIC ACOUSTIC MODES IN THE T-10 TOKAMAK WITH HEAVY ION BEAM PROBING. Problems of Atomic Science and Technology, Series: Plasma Physics, Volume 94, Issue 6, 2014, Pages 269-271.
- 27. V.I. Karas`, E.A. Kornilov, O.V. Manuilenko, O.V. Fedorovskaya, V.P. Tarakanov. DYNAMICS OF HIGH-CURRENT ION BEAM IN THE DRIFT GAP OF INDUCTION ACCELERATOR AT DIFFERENT VARIANTS OF CHARGE COMPENSATION. Problems of Atomic Science and Technology. Series: Plasma Physics. 2014. Volume 94, Issue 6. P. 143-146.
- 28. Н.С. Гинзбург, А.А. Голованов, И.В. Зотова, А.М. Малкин, В.П. Тараканов Эффект ондуляторного сверхизлучения и возможность его использования для генерации мультимегаваттных импульсов терагерцового диапазона.// ЖЭТФ, 2014, т.146, вып.4(10), стр.720-729.

 (N. S. Ginzburg, A. A. Golovanov, I. V. Zotova, A. M. Malkin, V. P. Tarakanov. Undulator superradiance effect and its applicability for the generation of multimegawatt terahertz pulses. Journal of Experimental and Theoretical Physics, Volume 119, Issue 4, 25 November 2014, Pages 632-640)
- 29. V F Kopiev, Y S Akishev, I V Belyaev, N K Berezhetskaya, V A Bityurin, G A Faranosov, M E Grushin, A I Klimov, V A Kopiev, I A Kossyi, I A Moralev, N N Ostrikov, M I Taktakishvili, N I Trushkin and M Yu Zaytsev. Instability wave control in turbulent jet by plasma actuators. . Phys. D: Appl. Phys. 47 505201 doi:10.1088/0022-3727/47/50/505201
- 30. A.Ya. Faenov, I.Yu. Skobelev, T. A. Pikuz, S. A. Pikuz, R. Kodama and V. E. Fortov. Diagnostics of warm dense matter by high-resolution X-ray spectroscopy of hollow ions. Laser and Particle Beams. DOI: http://dx.doi.org/10.1017/S0263034614000743.
- 31. J. Grzonka, Ł. Ciupiński, J. Smalc-Koziorowska, O.V. Ogorodnikova, M. Mayer, K.J. Kurzydłowski. Electron microscopy observations of radiation damage in irradiated and annealed. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 340, 1 December 2014, Pages 27-33.

- 32. E D Marenkov, S I Krasheninnikov, Ablation of high-Z material dust grains in edge plasmas of magnetic fusion devices. Phys. Plasmas 21, 123701 (2014); http://dx.doi.org/10.1063/1.4903333
- 33. E Oks, E Dalimier, A Ya Faenov, T Pikuz, Y Fukuda, S Jinno, H Sakaki, H Kotaki, A Pirozhkov, Y Hayashi, I Skobelev, T Kawachi, M Kando and K Kondo. Two-plasmon decay instability's signature in spectral lines and spectroscopic measurements of charge exchange rate in a femtosecond laser-driven cluster-based plasma. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 47 221001 doi:10.1088/0953-4075/47/22/221001
- 34. F. B. Rosmej, V. A. Astapenko, and V. S. Lisitsa. Effects of ultrashort laser-pulse durations on Fano resonances in atomic spectra. Phys. Rev. A 90, 043421 Published 31 October 2014.
- 35. B. Albertazzi, S.A. Pikuz et al. Laboratory formation of a scaled protostellar jet by coaligned poloidal magnetic field. Science ,2014: V.346, no. 6207 pp. 325-328
- Shurygin, R.V., Morozov, D.K. Behavior of lithium ions in the turbulent near-wall tokamak plasma under heating of ions and electrons of the main plasma. Plasma Physics Reports. Volume 40, Issue 12, 17 December 2014, Pages 919-931.
- 37. Kolodko D. V., Mamedov N. V., Vizgalov I. V., Sinelnikov D. N., Sorokin I. A. // Water Vapor Influence on the Proton Component of the Hydrogen Penning Discharge// Proceedings of 20th International Workshop on Beam Dynamics and Optimization. Article number 6890034// Saint Petersburg, 2014,p.87. (IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS, DOI: 10.1109/BDO.2014.6890034)
- A.B. Kukushkin, V.S. Neverov, M.B. Kadomtsev, V. Kotov, A.S. Kukushkin, M.G. Levashova, S.W. Lisgo, V.S. Lisitsa, V.A. Shurygin, A.G. Alekseev. Parameterization of Balmer-alpha asymmetric line shape in tokamak SOL plasmas. Journal of Physics: Conference Series. Volume 548, Issue 1, 2014, Article number 012012
- 39. Masahiko Ishino, Noboru Hasegawa, Masaharu Nishikino, Tatiana Pikuz, Igor Skobelev, Anatoly Faenov, Nail Inogamov, Tetsuya Kawachi and Mitsuru Yamagiwa. Very low electron temperature in warm dense matter formed by focused picosecond soft x-ray laser pulses. J. Appl. Phys. 116, 183302 (2014); http://dx.doi.org/10.1063/1.4901943
- 40. D. N. Sinelnikov, V.A. Kurnaev and N.V. Mamedov Emission properties of the plasma faced materials covered with thin films, Proceedings of the 26th International symposium on discharges and electrical insulation in vacuum, 2014, Mumbai Article number 6961740, Pages 545-548. DOI: 10.1109/DEIV.2014.6961740.
- 41. Mamedov, N.V.; Kurnaev, V.A.; Sinelnikov, D.N.; Kolodko, D.V. Elemental analysis of the surface during plasma irradiation. Article number 6892031. 10th International Vacuum Electron Sources Conference, IVESC 2014 and 2nd International Conference on Emission
- 42. E. Hodille, L.B. Begrambekov, J.Y. Pascal, O Saidi, B. Pégourié and C. Grisolia, «Hydrogen trapping in carbon film: from laboratories studies to TORE SUPRA applications». International Journal Of Hydrogen Energy. International Journal of Hydrogen Energy. Volume 39, Issue 35, 3 December 2014, Pages 20054-20061
- 43. L. Begrambekov, O. Dvoychenkova, A. Evsin, A. Kaplevsky, Ya. Sadovskiy, S. Vergasov, Schitov N.N., Yurkov D.I. Hydrogen transport through oxide metal surface under atom and ion irradiation. Hydrogen transport through oxide metal surface under atom and ion irradiation. J. Phys.: Conf. Ser. 567 012003 doi:10.1088/1742-6596/567/1/012003.

Отечественные журналы:

energy, 2015, Volume 117, Issue 3, pp 177-183)

- 44. Э.А.Азизов, А.А. Айрапетов, Л.Б. Беграмбеков, С.В. Вергазов, А.В. Грунин, А.А. Гордеев, А.М. Захаров, А.М. Калачев, И.В.Мазуль, Р.А.Рахманов, Я.А. Садовский, П.А. Шигин. Установка для нанесения покрытия карбида бора и тестирования материалов и покрытий при интенсивном плазменном облучении. ВАНТ, Сер. Термоядерный синтез, 2014, т. 37, вып. 4.
- 45. Ю.М. Гаспарян. XXI Международная конференция "Взаимодействие ионов с поверхностью" ВИП-2013. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2014, № 6, с. 3–5.
- 46. Евсин А.Е., Беграмбеков Л.Б., Гордеев А.А., Грунин А.В., Иванова С.В., Каплевский А.С. Поведение водорода в циркониевом сплаве Э-110 с хромовым покрытием в процессе осаждения в газовом разряде // Атомная энергия, том 117, т. 117, вып. 3, стр.143. (Evsin, A.E., Begrambekov, L.B., Gordeev, A.A., Grunin A.V., Ivanova, S.V., Kaplevskii, A.S. Hydrogen Behavior in Chromium-Coated Zirconium Alloy E-110 During Deposition in a Gas Discharge, Atomic

- 47. К.М. Гуторов, И.В. Визгалов, И.А. Сорокин, Ф.С. Подоляко. Вольтамперная характеристика контакта плазмы с электродом с тонкой диэлектрической пленкой на поверхности. Письма в ЖЭТФ. 2014. vol. 100, issue 11.
- 48. А.В. Мельников, Л.Г. Елисеев, С.Е. Лысенко, С.В. Перфилов, Р.В. Шурыгин, Л.И. Крупник, А.С. Козачок и А.И. Смоляков. РАДИАЛЬНАЯ ОДНОРОДНОСТЬ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ АКУСТИЧЕСКИХ МОД В ОМИЧЕСКИХ РАЗРЯДАХ С НИЗКИМ В НА ТОКАМАКЕ Т-10. Письма в ЖЭТФ, 2014, том 100, вып 9, с 633-638. (Radial homogeneity of geodesic acoustic modes in ohmic discharges with low B in the T-10 tokamak.JETP Letters. Volume 100, Issue 9, 2015, Pages 555-560).
- 49. А.Б. Путрик, Н.С. Климов, Ю.М. Гаспарян, В.С. Ефимов, В.А. Барсук, В.Л. Подковыров, А.М. Житлухин, А.Д. Ярошевская, Д.В. Коваленко. ПРОДУКТЫ ЭРОЗИИ ОБРАЩЁННЫХ К ПЛАЗМЕ МАТЕРИАЛОВ, образующиеся при характерных для ИТЭР импульсных плазменных процессах, и захват изотопов водорода в них. ВАНТ. Серия «Термоядерный синтез». 2014, т. 37, вып. 3, с.31-37.
- 50. Шмелев А.Н., Куликов Г.Г., Курнаев В.А., Салахутдинов Г.Х., Куликов Е.Г., Апсэ В.А. Гибридный реактор синтеза-деления с ториевым бланкетом. О его потенциале в топливном цикле ядерных реакторов. ВАНТ. Серия «Термоядерный синтез». 2014, т. 37, вып. 2, с.3-16.
- 51. Кирко Д.Л., Савелов А.С., ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЫ КОРОННОГО РАЗРЯДА НА ГРАНИЦЕ С ПОВЕРХНОСТЬЮ МЕТАЛЛА // Вестник Казанского Технологического Университета, 2014, т.17, №17, с. 44-46.

Препринты

52. Баловнев А.В., Вовченко Е.Д., Григорьева И.Г., Додулад Э.И., Ермаков В.Н., Клячин Н.А., Савелов А.С., Салахутдинов Г.Х. «Исследование рентгеновского излучения плазмы, образованной в сильноточных импульсных электрических разрядах на установке «низкоиндуктивная вакуумная искра»// М.: Препринт НИЯУ МИФИ, 2014, №001-2014.

Зарубежные конференции:

- I. Borodkina, D. Borodin, A. Kirschner, I.V. Tsvetkov, M. Komm, V.A. Kurnaev, A.Kreter, "An analytical model for the electric field and particle tracing at surface vicinity in plasma-surface interaction experiments". 41st EPS Conference on Plasma Physics, 23 - 27 June 2014.
- V.Kurnaev, I. Vizgalov, K. Gutorov, T.Tulenbergenov, I.Sokolov, A.Kolodeshnikov, V.Ignashev, V.Zuev, I.Bogomolova, N.Klimov // Investigation of plasma-surface interaction at KTM linear simulator // 21st International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices, 2014
- 3. M.M. Tsventoukh, G.V. Krashevskaya. Plasma convective stability at magnetic field lines of alternating-sign curvature.17th International Congress on Plasma Physics (ICPP), Lisbon, Portugal, September 15-19, 2014.
- 4. M.M. Tsventoukh, G.V. Krashevskaya, A.S. Prishvitsyn. Plasma Confinement by Magnetic Field with Convex-Concave Field Lines. 25th IAEA Fusion Energy Conference IAEA CN-221, St. Petersburg, Russia, 13-18 October 2014.
- 5. Л.Беграмбеков, Е. Азизов, О.Бужинский, Н.Климов, В.Курнаев, И.Мазуль. Защитное покрытие из В4С для тайлов дивертора ИТЭР. Напыление и тестирование слоев В4С и вольфрама. 25th IAEA Fusion Energy Conference IAEA CN-221, St. Petersburg, Russia, 13-18 October 2014.
- L. Begrambekov, A.Vlasyuk, A. Zakharov, Tungsten dust/powder behavior under intensive plasma irradiation.
 21st International Conference on Plasma Surface Interactions 2014, Kanazawa, Japan, 26-30 May 2014.
- E. Marenkov, A. Eksaeva, D. Borodin, A. Kirschner, M. Laengner, V. Kurnaev, A. Kreter. Modeling of plasma-material interaction experiments at PSI-2 with the 3D Monte-Carlo code ERO. 21st International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices. May 26 - 30, 2014.
- 8. Yu. M. Gasparyan, I. M. Timofeev, V. S. Efimov, M. S. Zibrov, A. A. Pisarev. Effect of Surface Conditions on Deuterium Retention and Desorption in Ferritic-Martensitic Steels. 12th International Workshop on Hydrogen Isotopes in Fusion Reactor Materials, June 2-4 2014, Toyama, Japan.
- S. Krat, Y. Gasparyan, A. Pisarev, M. Mayer, U. von Toussaint, P. Coad, A. Widdowson, JET-EFDA contributors. Hydrocarbon film deposition inside cavity samples in remote areas of the JET divertor during the 1999-2001 and 2005-2009 campaigns. 21st International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices, May 26-30, 2014, Kanazawa, Japan. P1-021.
- M. Zibrov, M. Mayer, L. Gao, S. Elgeti, H. Kurishita, Yu. Gasparyan, A. Pisarev. Deuterium retention in TiC and TaC doped tungsten at high temperatures. 21st International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices, May 26-30, 2014, Kanazawa, Japan. P2-072.

- Yu.M. Gasparyan, O.V. Ogorodnikova, V.S. Efimov, A. Mednikov, E.D. Marenkov, A.A. Pisarev, S. Markelj, I. Čadež. Deuterium retention and thermal desorption from self-damaged tungsten. 21st International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices, May 26-30, 2014, Kanazawa, Japan. P2-068.
- 12. M. Lehnen, K. Aleynikova, P.B. Aleynikov, Yu. Gasparyan et al. Disruptions in ITER and strategies for their control and mitigation. 21st International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices, May 26-30, 2014, Kanazawa, Japan. R-5.
- 13. Mf. Barthe, L. Begrambekov, O. Dvoychenkova, Ch. Grisolia, A. Grunin, E.Hodille, A. Kaplevsky, Ya. Sadovskiy, A. Skripitsyn, Deuterium trapping in ITER grade tungsten: influence of radiation defects, irradiation fluence and plasma impurity, 21st International Conference on Plasma Surface Interactions 2014, Kanazawa, Japan, 26-30 May 2014
- 14. E. Azizov, V. Barsuk, L. Begrambekov, O. Buzhinsky, A. Gordeev, A. Grunin, N. Klimov, V. Kurnaev, I. Mazul, V. Otroshchenko, A. Putric, Ya. Sadovsky, P. Shigin, S. Vergazov, A. Vlasyuk, A. Zakharow, Boron carbide (B₄C) coating, deposition and testing, 21st International Conference on Plasma Surface Interactions 2014, Kanazawa, Japan, 26-30 May 2014
- L. Begrambekov, A. Vlasyuk, A. Zakharov, Powder modification under influence of heat, electric field and particle irradiation, ICACS (the International Conference on Atomic Collisions in Solids) Debrecen, Hungary -13-18 July, 2014
- Kaziev A. V., Khodachenko G. V. Formation of low-frequency periodic structures in pulsed magnetron discharges // Abstracts of the 6th International Workshop and Summer School on Plasma Physics, 30 June–6 July 2014, Kiten, Bulgaria. P. 14
- 17. Tumarkin A., Zibrov M., Khodachenko G., Tumarkina D. Corrosion resistant silicon films deposited in magnetron discharge with liquid cathode // Abstracts of the 6th International Workshop and Summer School on Plasma Physics, 30 June–6 July 2014, Kiten, Bulgaria. P. 42
- Kaziev A. V., Khodachenko G. V. Low-pressure pulsed discharge forms in different magnetron configurations with Al cathode // Abstracts of the 14th International Conference on Plasma Surface Engineering, 15–19 September 2014, Garmisch-Partenkirchen, Germany. P. 113
- 19. Tumarkin A. V., Khodachenko G. V., Zibrov M. S., Kaziev A. V. Magnetron discharge with liquid metal cathode for high rate film deposition // Abstracts of the 14th International Conference on Plasma Surface Engineering, 15–19 September 2014, Garmisch-Partenkirchen, Germany. P. 349.
- 20. E. Marenkov, S. Krasheninnikov, A. Pisarev, «Plasma Surface Interactions and Plasma Technologies». International conference "Science of the future", Saint Petersburg, 27 1 September, 2014
- A.S. Popkov, S.A. Krat, Yu.M. Gasparyan, A.A. Pisarev. Investigation of codeposition of Li-D films in magnetron discharge. Book of abstracts of International Summer school on Physics of Plasma-surface interactions. Moscow, p.23.
- 22. M. Zibrov, A. Shubina, Yu. Gasparyan, A. Pisarev. On the determination of the binding energies for deuterium in tungsten from thermal desorption measurements with different heating rates. Book of abstracts of International Summer school on Physics of Plasma-surface interactions. Moscow (Jul, 28 Aug, 4, 2014, Moscow), p.12.
- 23. A. Putrik, N. Klimov, Yu. Gasparyan, V. Efimov, V. Barsuk, V. Podkovyrov, A. Zhitlukhin, A. Yaroshevskaya, D. Kovalenko. Deuterium retention in erosion products of plasma facing materials under ITER-like transient loads. Book of abstracts of International Summer school on Physics of Plasma-surface interactions. Moscow (Jul, 28 Aug, 4, 2014, Moscow), p.28.
- 24. A. Yevsin, L. Begrambekov, A. Kaplevskiy. Investigation of hydrogen behavior in zirconium under plasma irradiation and barrier properties of irradiated layer. Book of abstracts of International Summer school on Physics of Plasma-surface interactions. Moscow. (Jul, 28 Aug, 4, 2014, Moscow). P.30.
- 25. L. Begrambekov, A. Grunin, A. Kaplevskiy, Ya. Sadovskiy, S. Vergasov, P. Shigin. Gas exchange between oxygen contaminated hydrogen plasma and stainless steel vessel wall. Book of abstracts of International Summer school on Physics of Plasma-surface interactions. Moscow. (Jul, 28 Aug, 4, 2014, Moscow). P.29.
- D. Trufanov, V. Kurnaev, R. Zhuravlev, A. Shestakov, Lunar surface composition analysis using solar wind. Book of abstracts of International Summer school on Physics of Plasma-surface interactions. Moscow. (Jul, 28 – Aug, 4, 2014, Moscow). P.27.
- 27. A. Dvornova, D. Sinelnikov, V. Kurnaev, N. Mamedov. Emission properties of the plasma faced model material covere with thin insulator films. Book of abstracts of International Summer school on Physics of Plasma-surface interactions. Moscow. (Jul, 28 – Aug, 4, 2014, Moscow). P.16.

Отечественные конференции:

- 28. Визгалов И.В., Гуторов К.М., Подоляко Ф.С., Сорокин И.А. Высокочастотный автоколебательный генератор плазменных потоков для комплексной обработки материалов // Всероссийская (с международным участием) конференция «Физика низкотемпературной плазмы» (ФНТП-2014), сборник докладов с. 12, Казань, 2014.
- 29. Сорокин И.А., Визгалов И.В., Гуторов К.М. Модель протекания тока в контакте плазмы с электродом, покрытым тонкой диэлектрической пленкой // Всероссийская (с международным участием) конференция «Физика низкотемпературной плазмы» (ФНТП-2014), сборник докладов с. 31, Казань, 2014
- 30. Жданов В. М., Степаненко А. А. Уравнения переноса для химически активной частично ионизованной плазмы в магнитном поле // Сборник материалов Всероссийской (с международным участием) конференции «Физика низкотемпературной плазмы» ФНТП-2014. Казань, 2014. Т. 2. С. 103-106.
- 31. Жданов В. М., Степаненко А. А. Влияние неупругих столкновений на электронные коэффициенты переноса в молекулярной плазме // Материалы XIV Российской конференции (с международным участием) по теплофизическим свойствам веществ РКТС-2014. Казань, 2014. Т. 1. С. 350-352.
- 32. Гуторов К.М., И.В. Визгалов, Ф.С. Подоляко, И.А. Сорокин // Эмиссионные свойства контакта плазмы с электродом с тонкой диэлектрической пленкой на поверхности // XLI Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 2014.
- 33. Жданов В. М., Степаненко А. А. Коэффициенты переноса для многокомпонентной частично ионизованной плазмы в магнитном поле // Труды Международной конференции-конкурса молодых физиков, 3 февраля 2014 г., Москва, Физическое образование в вузах. 2014. Т. 20. №. 1. С. 12.
- 34. Е. Азизов, В.Барсук, Л.Беграмбеков, О.Бужинский, А.Гордеев, А.Грунин, Н.Климов, В.Курнаев, И.Мазуль, В.Отрощенко, А.Путрик, Я.Садовский, П.Шигин, С.Вергазов, А.Власюк, А.Захаров. Напыление и анализ защитного покрытия из В4С, Всероссийский семинар Физические и технические аспекты объёмного источника нейтронов для материаловедческих, технологических исследований и решения задач ядерной энергетики», г. Звенигород, 15-19 июня 2014 г.
- 35. А.Е. Евсин, А.С. Каплевский Л.Б. Беграмбеков, Поведение водорода в цирконии при его плазменном облучении и при испытаниях облученных образцов в перегретом паре, Международная научнотехническая конференция «Быстрозакалённые материалы и покрытия», Москва, 25-26 ноября 2014 г.
- 36. Беграмбекова С.А., Гришечкин С.К., Двойченкова О.А., Евсин А.Е., Каплевский А.С., Щитов Н.Н., Юрков Д.И. Исследование влияния барьерных поверхностных слоев на десорбцию дейтерия из мишеней вакуумных нейтронных трубок,13-я Международная научно-техническая конференция «Быстрозакалённые материалы и покрытия», Москва, 25-26 ноября 2014 г.
- 37. А.М. Захаров, С.А. Беграмбекова, А.В. Грунин, Изменение порошков вольфрама и бора под воздействием нагрева, электрического поля и корпускулярного облучения. Научно-техническая конференция «НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПЛАЗМА В ПРОЦЕССАХ НАНЕСЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ», Казань, 4-7 ноября 2014 г.
- 38. Л.Б. Беграмбеков, С.В. Вергазов, О.А. Двойченкова, А.Е. Евсин, А.С. Каплевский, Я.А.Садовский. Газообменные процессы через поверхностные оксидные слои при облучении водородной плазмой. Научно-техническая конференция «НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПЛАЗМА В ПРОЦЕССАХ НАНЕСЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ», Казань, 4-7 ноября 2014 г.
- 39. Евсин А.Е., Беграмбеков Л.Б., Гордеев А.А., Грунин А.В., Каплевский А.С. Обработка поверхности с целью уменьшения захвата изотопов водорода в циркониевый сплав Э110. V Международная конференция и IX Международная школа молодых ученых и специалистов IHISM'14, 7-11 июля 2014 г., Саров.
- 40. Е.Д. Маренков, С.И. Крашенинников. Транспорт водорода в материалах с широким распределением ловушек по энергиям захвата. Тезисы международной конференции «Взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами. IHISM'14.» Саров, 07-11 июля 2014 г
- 41. А.Е. Евсин, А.В. Грунин, А.С. Каплевский, А.А. Гордеев, Л.Б. Беграмбеков. О возможности проведения ускоренных испытаний циркониевых сплавов с защитными покрытиями на водородостойкость в плазме газового разряда. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцатая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов (27-28 февраля 2014 г., Москва).
- 42. Л.Б. Беграмбеков, А.В. Грунин, В.Н. Ермаков, А.С. Каплевский, Я.А. Садовский, С.В. Вергазов, П.А. Шигин. Газообмен между водородной плазмой с примесью кислорода и стенкой вакуумной камеры из

- нержавеющей стали. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцатая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов (27-28 февраля 2014 г., Москва).
- 43. Т.С. Климюк, А.С. Мартыненко, Е.Д. Филиппов, И.Ф. Раевский, С.А. Саранцев Комплекс для исследования плотной импульсной высокотемпературной плазмы с применением лазерных методов диагностики с визуализацией поля излучения // 20-я ежегодная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиотехника, электроника и энергетика» 27-28 февраля 2014 г. Тезисы докладов, том 4, стр. 3.
- 44. И.А. Сорокин, И.В. Визгалов, In-situ анализ ионного состава замагниченной плазмы // IX конференция "Современные средства диагностики плазмы и их применение", сборник докладов с. 173, 2014.
- 45. И.А. Сорокин, И.В. Визгалов, К.М. Гуторов, Ф.С. Подоляко, О возможности диагностики микротечей воды с помощью автоколебательного разряда // ІХ конференция "Современные средства диагностики плазмы и их применение", сборник докладов с. 178, 2014.
- 46. Баловнев А.В., Визгалов И.В., Салахутдинов Г.Х.// Материалы 9 конференции»Современные средства диагностики плазмы и их применение». Москва, 5-7 ноября 2014, С.99-102.
- 47. М.А. Алхимова, О.Б. Ананьин, Г.С. Богданов, Е.Д. Вовченко, А.П. Мелехов, Р.Ш. Рамакоти, А.С. Савелов, Источник рентгеновского излучения и многозарядных ионов на основе вакуумного разряда с лазерным поджигом // ІХ конференция "Современные средства диагностики плазмы и их применение", сборник докладов с. 160, 2014.
- 48. О.А. Башутин, А.С. Савелов, Спектро-поляриметрические исследования пучков нетепловых электронов в вакуумном искровом разряде // ІХ конференция "Современные средства диагностики плазмы и их применение", сборник докладов с. 149, 2014.
- 49. Э.И Додулад, В.А. Костюшин, А.С. Савёлов, Определение плотности плазмы, эмитируемой микропинчевым разрядом, с помощью комплексной корпускулярной диагностики // IX конференция "Современные средства диагностики плазмы и их применение", сборник докладов с. 126, 2014.
- 50. Харьков М. М., Казиев А. В., Ходаченко Г. В. Оптическая регистрация неоднородностей структуры импульсного магнетронного разряда // ІХ Конференция «Современные средства диагностики плазмы и их применение», НИЯУ МИФИ, г. Москва 5–7 ноября 2014 г. С. 55–58.
- 51. Э.И Додулад, С.А. Саранцев, Исследование закономерностей формирования сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры лазерно-оптическими и спектроскопическими методами // III Международная молодежная научная школа-конференция «Современные проблемы физики и технологий», 2014.
- 52. А.Е. Евсин, Л.Б. Беграмбеков, А.С. Каплевский. Поведение водорода в цирконии при его плазменном облучении и при испытаниях облученных образцов в перегретом паре. III Международная молодежная научная школа-конференция «Современные проблемы физики и технологий» (10-13 апреля 2014 г., Москва).
- 53. Каплевский А.С., Айрапетов А.А., Евсин А.Е., Шигин П.А. Исследование влияния облучения на десорбцию дейтерия из титановых мишеней вакуумных нейтронных трубок. III Международная молодежная научная школа-конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ» 10-13 апреля 2014 года г. Москва, НИЯУ МИФИ.
- 54. А.Захаров, С.Беграмбекова, А. Грунин. Влияние облучения плазмой на порошек вольфрама. III Международная молодежная научная школа-конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ» 10-13 апреля 2014 года г. Москва, НИЯУ МИФИ.
- 55. Тумаркин А. В., Зибров М. С., Ходаченко Г. В., Тумаркина Д. С. Нанесение антикоррозионных кремниевых покрытий на вольфрам и сталь в магнетронном разряде с расплавленным катодом // Современные проблемы физики и технологий. III Международная молодежная научная школаконференция, 10–13 апреля 2014 г.
- 56. Казиев А. В., Ходаченко Г. В. Переходные режимы импульсного разряда в магнетронных системах // Современные проблемы физики и технологий. III Международная молодежная научная школаконференция, 10–13 апреля 2014 г.
- 57. Двойченкова О.А., Евсин А.Е., Захаров А.М Модификация поверхностных оксидных слоёв титановых мишеней с целью повышения нейтронного выхода и ресурса нейтронных трубок «АТОМТЕХ-2014. Электрофизика», 26-28 ноября 2014, НИЯУ МИФИ.
- 58. Л. Беграмбеков, А. Гордеев, А. Е. Евсин, С. В. Иванова, А. С. Каплевский, Я. А. Садовский, Защитные структуры на поверхности циркониевых элементов активной зоны легководных реакторов.

- Формирование, тестирование, прототипноеоборудование «АТОМТЕХ-2014. Электрофизика», 26-28 ноября 2014, НИЯУ МИФИ.
- 59. А.А. Айрапетов, О.И.Бужинский, А.В. Грунин, А.А. Гордеев, А.М. Калачев, Я.А. Садовский, П.А. Шигин. Нанесение и тестирование покрытия карбида бора на вольфрам. Тестирование вольфрама и покрытия при интенсивном плазменном облучении «АТОМТЕХ-2014. Электрофизика», 26-28 ноября 2014, НИЯУ МИФИ.
- Тумаркин А. В., Казиев А. В., Зибров М. С., Ходаченко Г. В. Магнетрон с расплавленным катодом //
 Отраслевая научная конференция АТОМТЕХ2014. Электрофизика, 26–28 ноября 2014, НИЯУ МИФИ,
 г. Москва.

Доклады, представленные на зимней научной сессии НИЯУ МИФИ 2014 года в рамках секции «Физика плазмы и УТС» и XVI конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью» 30-31 января 2014г.:

- 1. Алхимова М.А., Вовченко Е.Д., Мелехов А.П., Новиков И.К., Савелов А.С. Комплексное исследование параметров комбинированного лазерно-плазменного источника // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 96.
- 2. Башутин О.А., Алхимова М.А., Вовченко Е.Д., Додулад Э.И., Савелов А.С., Саранцев С.А. Влияние конфигурации разрядного промежутка вакуумной искры на Кα излучение материала электродов // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 96.
- 3. Баловнев А.В., Григорьева И.Г., Додулад Э.И., Савелов А.С., Салахутдинов Г.Х. Исследование рентгеновского излучения микропинчевого разряда при помощи термолюминесцентных детектеров // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 97.
- 4. Алхимова М.А., Додулад Э.И., Климок Т.С., Раевский И.Ф., Савёлов А.С., Саранцев С.А. Перераспределение материала электродов по поверхности катода при развитии разряда сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 97.
- 5. Мартыненко А.С., Раевский И.Ф., Савёлов А.С., Саранцев С.А., Филиппов Е.Д. Визуализация плазмоиндуцированных процессов в межэлектродном промежутке установки «пион» с применением лазерного осветителя на молекулярном азоте // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 98.
- 6. Двоеглазов Я.М., Раевский И.Ф., Саранцев С.А. Взаимосвязь процессов в начальной стадии протекания сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры и процессов на поверхности катода // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 98.
- 7. Двоеглазов Я.М., Кузнецов А.П., Савёлов А.С., Саранцев С.А. Применение интерферометра Маха-Цендера с визуализацией поля излучения для исследования динамики линейной электронной плотности плазмы на установке «Пион» // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 99.
- 8. Двоеглазов Я.М., Михайлюк А.В., Кузнецов А.П., Раевский И.Ф., Савёлов А.С., Саранцев С.А. Интерферометрические исследования временной динамики электронной плотности плазмы разряда низкоиндуктивной вакуумной искры // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 99.
- 9. Додулад Э.И., Костюшин В.А., Раевский И.Ф., Савёлов А.С., Саранцев С.А. Диагностика плазменных потоков из области микропинчевого разряда с помощью многосеточного зонда // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 100.
- 10. Ходаченко Г.В., Тумаркин А.В., Казиев А.В., Куликов И.А. Исследование импульсного магнетронного разряда с расплавленным медным катодом // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 101.
- 11. Ходаченко Г.В., Казиев А.В., Харьков М.М. Экспериментальное исследование сильноточного импульсного магнетронного разряда с помощью высокоскоростной оптической диагностики // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 101.
- 12. Рябцев С.А., Борисюк Ю.В., Писарев А.А., Ходаченко Г.В. Применение плазмы аномального тлеющего разряда для модификации поверхности конструкционных материалов // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 102.
- 13. Балонев А.В., Вовченко Е.Д., Савелов А.С., Шиканов А.Е., Козловский К.И., Пономарев Д.Д., Салахутдинов Г.Х. Ускорение ионов в плазменном диоде с магнитной изоляцией // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 103.
- 14. Харрасов А.М. Исследование плазменных потоков в установках типа «плазменный фокус» // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 103.
- Подоляко Ф.С., Визгалов И.В., Гуторов К.М., Сорокин И.А. Экспериментальные измерения вольтамперной характеристики электрода с тонкой диэлектрической пленкой // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 104.

- Сорокин И.А., Визгалов И.В., Гуторов К.М., Подоляко Ф.С. Численное моделирование вольт-амперной характеристики электрода с тонкой диэлектрической пленкой // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 104.
- 17. Жданов В.М., Степаненко А.А. Коэффициенты вязкости и теплопроводности частично ионизованной плазмы в магнитном поле // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 105.
- 18. Цвентух М.М., Крашевская Г.В., Пришвицын А.С. Экспериментальный стенд для исследования эффекта пикирования профилей плазменного давления на основе установки «Магнетор» // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 106.
- 19. Лебедев Ю.А., Татаринов А.В., Титов А.Ю.1, Эпштейн И.Л.1, Крашевская Г.В., Юсупова Е.В. Влияние малых добавок аргона на сильно неоднородный СВЧ-разряд пониженного давления в водороде // Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 107.
- 20. Колодко Д.В., Мамедов Н.В., Визгалов И.В., Синельников Д.Н. Измерение эмиттанса ионного пучка из малогабаритных плазменных источников// Научная сессия МИФИ 2014, Москва, Т. 2. С. 109.
- 21. Н.П. Бобырь, А.В. Спицын, А.В. Голубева, М. Мауег, Ю.М. Гаспарян, Н.С. Климов, Б.И. Хрипунов, В.М. Чернов. Накопление изотопов водорода в низкоактивируемых конструкционных материалах, Методики тестирования обращенных к плазме элементов ТЯР, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 18.
- 22. И.Е. Бородкина, М. Котт, И.В. Цветков. Влияние наклонного магнитного поля на распределение потенциала электрического поля около обращенных к плазме поверхностей, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 21.
- 23. А.А. Ексаева, Е.Д. Маренков, Д. Бородин, А. Kirschner, М. Laengner, В.А. Курнаев, А. Кретер. Моделирование в коде ERO экспериментов по взаимодействию плазмы с вольфрамовой мишенью на установке PSI-2, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 25.
- 24. А.Б. Путрик, Н.С. Климов, Ю.М. Гаспарян, В.С. Ефимов, В.А. Барсук, А.М. Житлухин, В.Л. Подковыров, А.Д. Ярошевская, Д.В. Коваленко. Формирование продуктов эрозии обращенных к плазме материалов на плазменном ускорителе КСПУ-Т при характерных для ИТЭР переходных плазменных нагрузках, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 29.
- 25. С.А. Крат, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев, И. Быков, М. Маyer, G. de Saint Aubin, M. Balden, C. Lungu, A. Widdowson, JET-EFDA contributors. Сравнение эрозии и осаждении на внутренней стенке JET с ИТЭР-подобной и углеродной стенками, сборник научных трудов XVIIконференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 35.
- 26. А.А. Айрапетов, Л.Б. Беграмбеков, С.В. Вергазов, А.Н. Войтюк, А.А. Гордеев, Я.А. Садовский, В.П. Терентьев. Газифицирование и удаление углеродных слоёв из термоядерных установок, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 42.
- 27. А.С. Попков, С.А. Крат, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев. Изучение соосаждения дейтерия с литием в магнетронном разряде, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 50.
- 28. А.А. Айрапетов, Л.Б. Беграмбеков, О.И. Бужинский, С.В. Вергазов, А.В. Власюк, А.Н. Войтюк, А.В. Грунин, А.А. Гордеев, А.М. Захаров, А.М. Калачев, Н. Климов, Я.А. Садовский, П.А. Шигин, С.А. Беграмбекова. Формирование покрытия карбида бора в плазме и его поведение при интенсивном плазменном облучении, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 54.
- 29. Л.Б. Беграмбеков, А.В. Власюк, А.М. Захаров. Модификация порошка (пыли) вольфрама при атомарном облучении в условиях повышенных температур, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 59.
- Д.Н. Синельников, Д.А. Труфанов, В.А. Курнаев. Оценка проникновения распыленных отрицательных ионов в плазму ТЯР, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 65.
- 31. М.С. Зибров, А.А. Писарев, Ю.М. Гаспарян, М. Мауег, L. Gao, S. Elgeti, H. Kurishita. Удержание дейтерия в вольфраме с добавками карбида титана и карбида тантала при высоких температурах, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 69.

- 32. Д.А. Труфанов, Е.Д. Маренков, В.А. Курнаев. Энергетические потери ионов низких энергий при проникновении через тонкие пленки, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 73.
- 33. Д.Н. Синельников, В.А. Курнаев, Н.В. Мамедов, А.А. Дворнова, Д.В. Колодко. Эмиссионные свойства модельного материала стенки ТЯР с диэлектрической пленкой, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 77.
- 34. Д.К. Кутов, Е.Д. Маренков, В.А. Курнаев, К. Nordlund. Моделирование методом молекулярной динамики напыления углеводородных пленок на вольфрам, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 81.
- 35. O. V. Ogorodnikova, K. Sugiyama, Ł. Ciupiński, J. Grzonka, Yu. Gasparyan, V. Efimov. Production and recovery of radiation-induced defects in tungsten, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 85.
- 36. И.М. Тимофеев, Ю.М. Гаспарян, В.С. Ефимов, А.А. Писарев. Влияние поверхности на захват и десорбцию дейтерия в феррито-мартенситных сталях, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 86.
- 37. К.М. Гуторов, И.В. Визгалов, Ф.С. Подоляко, И.А. Сорокин. Методики тестирования обращенных к плазме элементов ТЯР, сборник научных трудов XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2014, с. 90.

Доклады, представленные на ХІ Курчатовской молодежной школе 28 – 31 октября 2014 г.:

- 1. И.Е. Бородкина, И.В. Цветков. Аналитическая модель влияния наклонного магнитного поля на распределение электрического потенциала около обращенных к плазме поверхностей.
- 2. Д. Бородин, А.А. Ексаева, А. Киршнер, В.А. Курнаев, А. Кретер, М. Лаенгер, Е.Д. Маренков. Код ERO-PSI для моделирования экспериментов по взаимодействию плазмы с вольфрамовой мишенью на установке PSI-2.
- 3. С.А. Крат, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев, М. Майер. Эрозия и осаждение материалов в диверторе токамака JET с 2011 по 2012 года.

Признание (награды, премии, персональные гранты)

- 1. Гаспарян Ю.М., Грант Президента РФ на 2013-2014 гг.
- 2. Садовский Я.А., Грант Президента РФ на 2014-2015 гг.
- 3. Бородкина И.Е. диплом, 12-я Курчатовская молодежная научная школа.
- 4. Евсин А.Е. Диплом за лучший доклад на стендовой сессии III Международной молодежной научной школы-конференции «Современные проблемы физики и технологий» (10-13 апреля 2014 г., Москва)
- 5. Алхимова М.А. Диплом 1 степени за лучший доклад на ???
- 6. Крат С. Победитель конкурса на лучший стендовый доклад на секции 2 Международной конференции по взаимодействию плазмы с поверхностью в термоядерных установках. Каназава, Япония, Май 2014
- 7. Зибров М. Победитель конкурса на лучший стендовый доклад на секции 4 Международной конференции по взаимодействию плазмы с поверхностью в термоядерных установках. Каназава, Япония, Май 2014
- 8. Победителями конкурса НИЯУ МИФИ «Лучший молодой преподаватель МИФИ 2014» (всего 71) стали:
 - 1. Доцент Гаспарян Ю.М.,
 - 2. Доцент Гуторов К.М.,
 - 3. Доцент Крашевская Г.В.,
 - 4. Доцент Маренков Е.Д.
 - 5. Ассистент Садовский Я.А.
- 9. Победителями конкурса «Лучший аспирант НИЯУ МИФИ 2014г» (всего 100 чел.) стали
 - 1. Ефимов В.С.
 - 2. Крат С.А.
 - 3. Сорокин И.А.
 - 4. Подоляко Ф.С.
 - 5. Каплевский А.С.
 - Евсин А.Е.
 - 7. Зибров М.С.
 - 8. Алхимова М.А.
 - 9. Раевский И.Ф.
 - 10. Тумаркин А.В.
- 10. Победителями конкурса «Лучший студент НИЯУ МИФИ 2014г» (всего 100 чел.) стали
 - 1. Клюмюк Т.С. Т11-21

- 2. Труфанов Д.А. Т11-21
- 3. Дворнова А.А. Т11-21
- 4. Ексаева А.А. Е09-04
- 5. Коваль О.А. Е09-04
- Мещерякова Е.А.Т09-21

Объекты интеллектуальной собственности:

- 1. Зибров М.С., Ходаченко Г.В., Тумаркин А.В., Казиев А.В., Степанова Т.В., Писарев А.А., Атаманов М.В. Способ защиты поверхности алюминия от коррозии. (RU 2522874 C1, 20.07.2014.)
- 2. Бернт Д.Д., Писарев А.А., Ходаченко Г.В., Деньщиков К.К., Атаманов М.В. Способ изготовления токоснимающей фольги и токоснимающая фольга суперконденсаторов. (RU 2522940 C1, 20.07.2014)
- 3. Е.Д. Вовченко, Н.А. Бердоносова, К.И. Козловский, М.А. Гулин, Д.Д. Пономарев, А.Е. Шиканов. Ионный диод для генерации нейтронов. Патент РФ на полезную модель № 140351. Заявка № 2013157425. Приоритет полезной модели 24.12.2013. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 08.04. 2014.
- 4. Е.Д. Вовченко, А.А. Исаев, К.И. Козловский, Д.Д. Пономарев, А.Е. Шиканов. Импульсный генератор нейтронов. Патент РФ на полезную модель № 143417. Заявка № 2014107319. Приоритет полезной модели 25.02.2014. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 20.07. 2014.
- 5. Е.Д. Вовченко, А.К. Дулатов, А.А. Исаев, К.И. Козловский, Б.Д. Лемешко, А.И. Прокуратов, А.Е. Шиканов. Ионный триод для генерации нейтронов. Решение от 15.09.2014 о выдаче патента на полезную модель. Заявка № 2014128877. Дата подачи заявки 14.07.2014.

Учебные пособия

- 1. И.В. Визгалов, К.М. Гуторов, Д.Л. Кирко, Г.В. Крашевская, В.А. Курнаев, Н.В. Мамедов, Ф.С. Подоляко, А.С. Савелов, Д.Н. Синельников, И.А. Сорокин. Физическая электроника и низкотемпературная плазма. НИЯУ МИФИ. 2014. 86 с.
- 2. Беграмбеков Л.Б., Визгалов И.В., Вовченко Е.Д., Димитров С.К., Захаров А.М., Крашевская Г.В., Курнаев В.А., Мозгрин Д.В., Савёлов А.С., Урусов В.А., Ходаченко Г.В. Основы физического эксперимента в физике плазмы. НИЯУ МИФИ. 2014. 60с.

Защищенные диссертации:

- 1. Синельников Д.Н. Низкополевая эмиссия с обращенных к плазме материалов термоядерных установок, к.ф.-м.н., специальность 01.04.08, 21 мая 2014.
- 2. Казиев А.В. Структура нераспыляющего магнетронного разряда, к.ф.-м.н., специальность 01.04.08, 25 июня 2014.

Диссертации, защищенные выпускниками кафедры вне НИЯУ МИФИ

- 3. Быстров К.– PhD Kirill Bystrov "Erosion and Morphology changes of graphite under high flux low temperature plasma bombardment" Technische Universiteit Eindhoven, 06.02.2014.
- 4. Быков И. PhD IGOR BYKOV "Experimental studies of materials migration in magnetic confinement fusion devices: Novel methods for measurement of macro particle migration, transport of atomic impurities and characterization of exposed surfaces" KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 22.04.2014.
- 5. Matbeeba M.A.– PhD Maria Matveeva "Influence of the surface composition and morphology on the reflectivity of diagnostic mirrors in a fusion reactor" Heinrich-Heine-University Düsseldorf, 01.07.2014.
- 6. Чукбар Б.К. Расширение возможностей программы МСИ для расчётов проектируемых ядерноэнергетических установок, к.т.н., специальность 05.13.18, 2014.

Издания кафедры:

- 1. Годовой отчет по НИР за 2013 год (ISBN 978-5-7262-1977-6) Ред. В.А. Курнаев, М.: МИФИ 2014, 55с.
- 2. Материалы XVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». Москва, 30-31 января 2014 г. (ISBN 978-5-7262-1911-0) Ред. В.А. Курнаев и др., М.: МИФИ 2014, 104с.
- 3. Материалы международной школы «Физика взаимодействия плазмы с поверхностью». Моска, 28 июля 4 августа 2014 г. (ISBN: 978-5-7262-1982-0) Ред. В.А. Курнаев и др., М.: МИФИ, 2014, 40 с.
- 4. Материалы IX российской конференции «Современные средства диагностики плазмы и их применение для контроля веществ и окружающей среды». Москва, 5-7 ноября 2014. (ISBN 978-5-7262-2019-2) Ред. В.А. Курнаев и др., М.: МИФИ 2014, 192с.

Научно-организационные мероприятия, проведенные кафедрой:

- 1. Секция «Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез» на научной сессии МИФИ-2014, Москва, 29 января 2014 г.
- 2. XVII Конференция «Взаимодействие плазмы с поверхностью», Москва, 30-31 января 2014г.
- 3. International Summer School on the Physics of Plasma-Surface Interactions. Москва, 28 июля 4 августа 2014 г.
- 4. IX конференция «Современные средства диагностики плазмы и их применение». Москва, 5 7 ноября 2014 г.

Международное сотрудничество:

- 1. University of California San Diego, USA в НИЯУ МИФИ создана новая лаборатория под руководством профессора UCSD С.И. Крашенинникова (в рамках постановления П220).
- 2. Max-Planck-Institut fuer Plasmaphysik, Garching, Germany Стажировка, совместные исследования и публикации (М.С. Зибров, С.А. Крат, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев)
- 3. Forschungzentrum Juelich, Germany Стажировка, совместные исследования и публикации (И. Сорокин, И.В. Визгалов, А. Ексаева, Е.Д. Маренков).
- 4. ITER Organization, France Стажировка (П.А. Шигин, Ю.М. Гаспарян)
- 5. Институт атомной энергии, г. Курчатов, Казахстан Совместные исследования и публикации (Визгалов И.В., Курнаев В.А.)
- 6. CEA Cadarache, France Заключен договор о сотрудничестве и Институтом термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы. Совместные исследования (Л.Б. Беграмбеков) + рабочий визит в НИЯУ МИФИ доктора X. Гризолиа.
- 7. University of Illinois, USA Заключен договор о сотрудничестве. Стажировка (И. Щелканов). Совместные исследования, поддержанные контрактом МОН РФ (А.А.Писарев)
- 8. University of Gent (coordinator of European Erasmus Mundus program in Fusion physics and engineering) Заключен договор о сотрудничестве. Участие и координация действий в магистерской и докторской программах в качестве ассоциированного члена

ДИПЛОМНЫЕ ПРОЕКТЫ, ЗАЩИЩЕННЫЕ СТУДЕНТАМИ КАФЕДРЫ В 2014 ГОДУ, С ПРИСВОЕНИЕМ КВАЛИФИКАЦИИ ИНЖЕНЕР-ФИЗИК

Nº	Фамилия И.О.	Руководитель	Тема дипломного проекта
			T12-21
1	Ермолаева Анастасия Игоревна	Саврухин П.В. (НИЦ КИ)	Исследование пространственно-временной эволюции ускоренных электронов в плазме токамака T-10
2.	Калужнин Лев Михайлович	Визгалов И.В. (НИЯУ МИФИ)	Встраиваемый двухсекционный анализатор масс ионов компонентного состава плазмы для установки ПР-2
3.	Куликов Иван Александрович	Ходаченко Г.В. (НИЯУ МИФИ)	Импульсный магнетронный разряд с расплавленным катодом
4.	Кутов Данил Константинович	Маренков Е.Д. (НИЯУ МИФИ)	Моделирование методом молекулярной динамики напыления углеводородных пленок на вольфрам
5.	Лизякин Геннадий Дмитриевич	Гавриков А.В. (ОИВТ РАН)	Экспериментальное исследование вакуумно-дугового разряда со стационарной катодной привязкой на гадолинии и материалах сложного состава в целях создания плазменного источника для технологии плазменной переработки отработавшего ядерного топлива
6.	Лебедева Надежда Александровна	Горшков А.В. (НИЦ КИ)	Разработка алгоритма статистической обработки сигналов томсоновского рассеяния на токамаке T-10
7.	Мешкова Анна Сергеевна	Акишев Ю.С. (ТРИНИТИ)	Разработка источников неравновесной плазмы для биомедицинских приложений
8.	Овчинникова Элина Дмитриевна	Кирнева Н.А. (НИЦ КИ)	Удержание энергии и частиц в экспериментах с генерацией электронно-циклотронного тока в токамак Т-10
9.	Птичкина Екатерина Андреевна	Митрофанов К.Н. (ТРИНИТИ)	Исследование аксиального распределения магнитного поля внутри плазмы многопроволочной сборки
10.	Рябцев Сергей Анатольевич	Писарев А.А. (НИЯУ МИФИ)	Применение аномального тлеющего разряда для модификации поверхности конструкционных материалов
11.	Скрипицын Александр Федорович	Беграмбеков Л.Б. (НИЯУ МИФИ)	Закономерности газообмена между водородной плазмой и металлами с оксидным поверхностным слоем
12.	Тимофеев Иван Михайлович	Гаспарян Ю.М. (НИЯУ МИФИ)	Исследование влияния поверхностных эффектов на захват и десорбцию дейтерия в ферритномартенситной стали Еврофер
13.	Черных Максим Павлович	Кирнева Н.А. (НИЦ КИ)	Анализ изменения удержания энергии и частиц с ростом плотности плазмы в режимах с омическим нагревом и в L-моде с электронно-циклотронным нагревом на токамаках Т-10 и TCV
14.	Шапкина Екатерина Евгеньевна	Родионов Н.Б. (ТРИНИТИ)	Разработка алмазных детекторов для работы в условиях вертикальной нейтронной камеры и контактов чувствительных элементов для алмазного спектрометра нейтральных частиц ИТЭР

	E12-04				
1.	Власюк Агата Владимировна	Беграмбеков Л.Б. (НИЯУ МИФИ)	Модификация порошков (пыли) вольфрама и бора при атомарном и ионном облучении в условиях повышенных температур		
2.	Дубров Максим Леонидович	Лукаш В.Э. (НИЦ КИ)	Влияние нейтральной компоненты на процесс ввода тока в плазму токамака		
3.	Клюс Борис Александрович	Жильцов В.А (НИЦ КИ)	Разработка геликонного источника плазмы и системы диагностики плазменного потока		
4.	Костюшин Владислав Андреевич	Савелов А.С. (НИЯУ МИФИ)	Диагностика ионной компоненты плазменных потоков, эмитируемых разрядом типа сильноточная низкоиндуктивная вакуумная искра		
5.	Кустов Илья Константинович	Дремин М.М. (НИЦ КИ)	Особенности срыва разряда по предельной плотности в токамаке T-10 с быстрым развитием спада тока		
6.	Москаленко Илья Николаевич	Игнатьев Г.Н. (ВНИИА)	Расчетные и экспериментальные исследования характеристик рентгеновского спектрометра на основе флуоресцентных конвертеров, предназначенного для диагностики импульсных плазменных установок		
			C12-06		
1.	Алхимова Мария Андреевна	Вовченко Е.Д. (НИЯУ МИФИ)	Регулируемый источник рентгеновского излучения на основе разрядной плазмы с лазерным инициированием		
2.	Светлова Наталья Владимировна	Савелов А.С. (НИЯУ МИФИ)	Исследование продуктов распада сильноточного Z- пинча и устройств защиты периферийного оборудования		



В день защиты дипломов 28.02.2014. В первом ряду преподаватели (слева направо): В.А. Курнаев, Н.Г.Ковальский (председатель ГЭК), В.С. Мирнов, А.А. Писарев. Второй ряд: Д.Л. Кирко, Я.А. Садовский, Н.А. Кирнева, А.М. Зимин, Д.Х. Морозов, А.С. Савелов.

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

Nº	Фамилия И.О.	Руководитель	Тема дипломного проекта
1.	Харрасов Айрат Мухаметович	Крауз В.И. (НИЦ КИ)	Исследование динамики плазмы на установке «плазменный фокус» оптическими методами
2.	Колодко Добрыня Вячеславович	Курнаев В.А. (НИЯУ МИФИ)	Исследование источника ионов на основе пеннинговсого разряда
3.	Смоляков Артем Андреевич	Кочетов И.В. (ТРИНИТИ)	Расчетное исследование особенностей течения активной среды в разрядной камере СО-лазера со сверхзвуковой прокачкой газа
4.	Филиппов Евгений Дмитриевич	Савелов А.С. (НИЯУ МИФИ)	Визуализация физических процессов в межэлектродном промежутке микропинчевой установки с применением N_2 - лазера

НИЦ КИ - Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,

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

ВНИИА – Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова,

ОИВТ РАН – Объединенный Институт Высоких температур Российской академии наук.

Практика школьников

ФИО школьника	Лицей	Тема	Руководитель темы	
Летняя производств	енная пр	актика школьников 10-х к.	лассов	
Радин Егор Владимирович	1547	Энерго- масс-спектрометрия ионного источника на основе	Мамедов Н. В.	
Ильиных Игорь Александрович	1547	пеннинговского разряда	мамедов II. Б .	
Клевцевич Дмитрий Викторович	1547	T	Гордеев А. А.	
Дьяконов Дмитрий Максимович	1547	Термодесорбция		
Кудряшов Евгений Константинович	1511	Модификация поверхности электрода из пористого углерода суперконденсатора в тлеющем разряде	Тарасюк Г. М.	
Молчанова Екатерина Артёмовна	1511	Осаждение кремниевых покрытий на металлические	Vnor C A	
Харина Анна Павловна	1511	поверхности	Крат С.А.	
Лаишевский Станислав Дмитриевич	1511	Влияние облучения в водородной плазме на выход внедренного дейтерия из титанового слоя мишени нейтронного генератора	Каплевский А.С.	
Галайда Александр Владимирович	1511	Исследование параметров рентгеновского излучения	Додулад Э.И.	
Гамов Николай Олегович	1511	горячей плазмы микропинчевого разряда	,,,,,	
Лебедевич Маргарита Вадимовна	1511	Изучение устройств и принципов работы установки плазменного облучения и напыления покрытий	Захаров А.М.	
Аристов Иван Павлович	1523	Изучение роста кристаллов оксида вольфрама	Ефимов В.С.	
Ильиных Игорь Александрович	1547	Энерго- масс-спектрометрия ионного источника на основе пеннинговского разряда	Мамедов Н. В.	
Алиева Алиса Ильинична	1552	Исследование адаптивной оптики	Филиппов Е. Д.	
Королева Татьяна Андреевна	1511	Ознакомление с принципом работы вакуумных систем	Зибров М. С.	
Мамедов Иван Михайлович	1523	Моделирование отражения атомов кислорода, кремния и алюминия от золота	Синельников Д. Н.	

Список школьников, выполняющих научные работы на кафедре физики плазмы НИЯУ МИФИ (осенний семестр 2014)				
Фунтова Мария Дмитриевна	1511	Плазменная модификация	T. F.M.	
Кудряшов Евгений Константинович	1511	электродов суперконденсаторов с целью увеличения их емкости Тарасюк Г.М.		
Молчанова Екатерина Артёмовна	1511	Осаждение пористых	Vnoz C A	
Харина Анна Павловна	1511	 кремниевых покрытий на металлические поверхности 	Крат С.А.	
Мамедов Иван Павлович	1523	Простая оценка заряженной фракции отраженных от поверхности частиц	Синельников Д.Н.	
Сергиенко Тихон Дмитриевич	1511	Исследование высокотемпературных	Егоров И.Д.	
Воробьев Даниил	1511	сверхпроводящих магнитных систем		

Свои работы ребята с успехом представили на различных конкурсах в начале 2015 года.

Призовые места на конкурсе «Юниор-2015» заняли: Анна Харина (1-е место), Екатерина Молчанова (2-е место), Даниил Воробьев (2-е место), Тихон Сергиенко (2-е место), Евгений Кудряшов (3-е место).

Булгадарян Д.Г.

СПИС	ОК СОТРУДНИКОВ И АС	СПИРАНТОВ КАФЕД	ĮРЫ
	преподаватели		ый сектор
Беграмбеков Л.Б.	проф.	Айрапетов А.А.	H.C.
Визгалов И.В.	доцент	Башутин О.А.	H.C.
Гаспарян Ю.М.	доцент	Бердникова М.М.	инж. 1 кат.
Гуторов К.М.	доцент	Борисюк Ю.В.	вед. инж.
Жданов В.М.	проф.	Вайтонис В.В.	инж.
Захаров А.М.	доцент	Вергазов С.В.	H.C.
Кирко Д.Л.	доцент	Вовченко Е.Д.	с.н.с., к.ф.м.н.
Крашевская Г.В.	доцент	Додулад Э.И.	инж.
Курнаев В.А.	проф., зав. каф.	Калачев А.М.	инж.
Писарев А.А.	проф.	Коборов Н.Н.	инж.
Савелов А.С.	проф.	Мамедов Н.В.	инж.
Салахутдинов Г.Х.	проф.	Перелыгин С.Ф.	с.н.с,. к.ф.м.н.
Ходаченко Г.В.	доцент	Сидоров П.П.	инж.
Шигин П.А.	доцент	Политыко И.В	инж.
Садовский Я.А.	ассистент	Степанова Т.В.	инж. 1 кат.
Маренков Е.Д.	доцент	Урусов В.А.	н.с., к.ф.м.н.
Саранцев С.А.	ассистент	Щелканов И.А.	инж., к.ф.м.н.
Синельников Д.Н.	тьютор	Кондаков В.В.	0,5 н.с., к.ф.м.н.
Сов	местители	Огородникова О.В.	H.C.
Акишев Ю.С.	проф. (ТРИНИТИ)	Совм	естители
Голубев А.А.	проф. (ИТЭФ)	Кондаков В.В. 0,5	н.с., к.ф.м.н.
Глова А.Ф.	проф. (ТРИНИТИ)	Пикуз С.А.	н.с. к.ф.м.н.
Иванов В.А.	доцент (ИОФ РАН)	Ролдугин В.И.	с.н.с. д.ф.м.н.
Зимин А.М.	инж.(МГТУ им.Баумана)	Пшенов А.А.	инж.
Ильгисонис В.И.	проф.(ИФТ НИЦ КИ)	Вспомогател	тьный персонал
Кирнева Н.А.	доц. (ИФТ НИЦ КИ)	Барышев О.А.	зав. уч. лаб.
Ковыльникова В.Н.	инж.	Гордеев А.А.	инж. 1 кат.
Кутеев Б.В.	проф. (ИФТ НИЦ КИ)	Золотовская С.В.	инж.
Мирнов С.В.	проф. (ТРИНИТИ)	Тимошкова О.С.	ст. лаборант
Мозгрин Д.В.	доц. (Минобрнауки)		
Морозов Д.Х.	проф. (ИФТ НИЦ КИ)	Асп	иранты
Стрелков В.С.	проф.(ИФТ НИЦ КИ)	Бородкина И.Е.	Савин С.П.
Цветков И.В	доц. (НИЯУ МИФИ)	Казиев А.В.	Зибров М.С.
Черковец В.Е.	проф. (ТРИНИТИ)	Степаненко А.А.	Грунин А.В.
Алимов В.Х.	проф. (ИФХ РАН)	Шотниев В.А.	Сорокин И.А.
Климов Н.С.	доц.(ТРИНИТИ)	Григорьева И.Г.	Подоляко Ф.С.
Ковальский Н.Г.	проф.(ТРИНИТИ)	Литвин А.Д.	Ефимов В.С.
Кукушкин А.Б.	проф.(НИЦ КИ)	Евсин А.Е.	Раевский И.Ф.
Лисица В.С.	проф.(НИЦ КИ)	Каплевский А.С.	Помазан О.А.
Лукаш В.Э.	проф.	Крат С.А.	Костюшин В.А.
Мартыненко Ю.В.	проф.	Тумаркин А.В.	Филиппов Е.Д.
Медведев С.Ю.	проф.	Николаева В.Е.	Алхимова М.А.
Никулин В.Я.	проф.	Баловнев А.В.	Манохин И.Л.
Пустовитов В.Д.	проф.	Асадулин Г.Б.	Рябцев С.А.
Смирнов В.П.	проф.	Двоеглазов Я.М.	Колодко Д.В.
Tanayayaa P []	- n a ab	Enverse P U	Evenodoneu II I

Ермаков В.Н.

Тараканов В.П.

Шустин Е.Г.

проф.

проф.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ РАБОТ

Беккер Х.	30	<u>Колодко Д.В.</u>	31
Бэлдвин М.	30	Крат С.А.	25, 27
Дорнер Р.	30	Крашевская Г.В.	16, 17
Дуэй Д.	30	Куприянов И.Б.	26
Когут Д.	30	Курнаев В.А.	30, 31
Майер М.	25	Лебедев Ю.А.	16
Крашенинников	6, 10, 11, 12	Маренков Е.Д.	6, 10, 11, 12
С.И.	30	Мамедов Н.В.	30, 31
Шварц-Силенгер Т.	23, 34	<u>Мещерякова Е.А</u> .	13, 37
Айрапетов А.А.	19, 36	<u>Орешникова Н.М</u> .	32
Баловнев А.В.	23, 24, 34	Писарев А.А.	25, 26, 27, 28,
Беграмбеков Л.Б.	32		32, 33, 37
Бердникова М.А.	35	Подоляко Ф.С.	22, 29
<u>Бидлевич О.А.</u>	32	<u>Попков А.С</u> .	27
Борисюк Ю.В.	9	<u>Попов В.Д.</u>	15
Бородкина И.Е.	34	Порезанов Н.П.	26
Бужинский О.И.	18, 21, 22, 29,	<u>Пришвицын А.С</u> .	17
Визгалов И.В.	35	Пшенов А.А.	6
Вовченко Е.Д.	19, 36	Раевский И.Ф.	20
<u>Войтюк А.Н.</u>	23	Рябцев С.А.	28
Гаспарян Ю.М.	11, 25, 26, 27,	Савелов А.С.	19, 20, 36
	28, 37	Садовский Я.А.	34
Гоголева М.А.	16	Салахутдинов Г.Х.	19, 36
Гордеев А.А.	34	Саранцев С.А.	20
Григорьева И.Г.	19, 36	Синельников Д.Н.	30, 31
Грунин А.В.	34	<u>Соловьев Н.А.</u>	31
Гуторов К.М.	15, 22, 29	Сорокин И.А.	15, 21, 22, 29, 35
Двоеглазов Я.М.	20	Степаненко А.А.	7, 8
Евсин А.Е.	24	<u>Тарасюк Г.М</u> .	33
Ексаева А.А.	6	<u>Терентьев В.П</u> .	23
Ефимов В.С.	26	<u>Труфанов Д.А.</u>	10
Жданов В.М.	7, 8	Тумаркин А.В.	32, 37
Захаров А.М.	34	Ходаченко Г.В.	13, 14, 32, 37
Зибров М.С.	13, 28, 37	Цвентух М.М.	17
Казиев А.В.	14, 37	Цветков И.В.	9
Калачев А.М.	34	Шигин П.А.	34
Каплевский А.С.	24		
<u>Коваль О.А.</u>	18		

Подчеркнуты фамилии студентов

17 конференция «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ» <u>Заседание №1</u>

40.00	<u>Засеоание № 1</u> Четверг, 30 января начало в 10.00
10.00 -	Е.Д. МАРЕНКОВ, <u>А. ЕКСАЕВА</u> , Д. БОРОДИН ¹ , В.А. КУРНАЕВ, А. КИРШНЕР ¹
10.15	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ¹ Научный центр Юлих, Германия
	Моделирование экспериментов по взаимодействию плазмы с
	вольфрамовой мишенью на установке PSI-2 в коде ERO
10.15 –	С.А. КРАТ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ, И. БЫКОВ ¹ , М. MAYER ² , G. DE
10.30	SAINT AUBIN ² , M. BALDEN ² , C. LUNGU ³ , A. WIDDOWSON ⁴
	Национальный Исследовательский Ядерный университет "МИФИ"
	¹ Fusion Plasma Physics, Royal Institute of Technology (KTH), Sweden ² Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Germany
	³ NILPRP,Association EURATOM-MEdC, Bucharest, Romania
	⁴ Culham Science Centre, Great Britain
	Сравнение эрозии и осаждении на внутренней стенке ЈЕТ с ИТЭР-
	подобной и углеродной стенками
10.30 –	Н.П. БОБЫРЬ ¹ , А.В. СПИЦЫН ¹ , А.В. ГОЛУБЕВА ¹ , М. МАЙЕР ² , Ю.М.
10.30 -	ГАСПАРЯН ³ , Н.С. КЛИМОВ ⁴ , Б.И. ХРИПУНОВ ¹ , В.М. ЧЕРНОВ ⁵
10.43	¹ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия
	² Институт физики плазмы им. Макса Планка, Гархинг, Германия
	³ НИЯУ МИФИ, Москва, Россия
	⁴ ФГУП ГНЦ ТРИНИТИ, Троицк
	⁵ВНИИНМ им. А.А. Бочвара, Москва, Россия
	Накопление изотопов водорода в низкоактивируемых конструкционных
	материалах
10.45 –	ЧЕРКЕЗ ¹ Д.И., СПИЦЫН ¹ А.В., ГОЛУБЕВА ¹ А.В., В.М. ЧЕРНОВ ²
11.00	¹ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия
	⁵ВНИИНМ им. А.А. Бочвара, Москва, Россия
	Проникновение дейтерия через низкоактивируемые конструкционные
	материалы термоядерных реакторов
11.00 -	М.С. ЗИБРОВ, А.А. ПИСАРЕВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, М. МАЙЕР, Л. ГАО, С.
11.15	ЭЛЬГЕТИ, Х. КЮРИШИТА
	Удержание дейтерия в вольфраме с добавками карбида титана и карбида
	тантала при высоких температурах
11.15 –	Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, <u>А.В. ВЛАСЮК</u> , А.М. ЗАХАРОВ
11.30	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
	Модификация порошка (пыли) вольфрама при атомарном облучении в
44.00	условиях повышенных температур
11.30 -	КОФЕ-БРЭЙК
11.50	
11.50 -	<u>А.Н. ЩЕРБАК¹,</u> С.В. МИРНОВ ¹ , В.Б. ЛАЗАРЕВ ¹ , Н.Т. ДЖИГАЙЛО ¹ , В.М.
12.05	$\overline{HECTEPEHKO^1}$, М.В. КИСЕЛЕВ , С.И. КРАВЧУК , С.П. ДЖУРИК , Ю.В.
	ПЕТРОВ ¹ , И.Е. ЛЮБЛИНСКИЙ ² , А.В. ВЕРТКОВ ²
	фГУП ГНЦ ТРИНИТИ, Троицк
	² ОАО «Красная Звезда», Москва
	Исследование эффективности сбора лития криогенной мишенью на
	токамаке Т-11М
12.05 -	А.С. ПОПКОВ, С.А. КРАТ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ
12.20	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
10.00	Изучение соосаждения дейтерия с литием в магнетронном разряде
12.20 -	Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, Д.А. ТРУФАНОВ, В.А. КУРНАЕВ
12.35	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
10.05	Оценка проникновения распыленных отрицательных ионов в плазму ТЯР
12.35-	Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, В.А. КУРНАЕВ, Н.В. МАМЕДОВ, А.А. ДВОРНОВА, Д.В.
12.50	КОЛОДКО
	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

	Эмиссионные свойства модельного материала стенки ТЯР с
	диэлектрической пленкой
12.50 -	А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, С.В. ВЕРГАЗОВ, А.Н. ВОЙТЮК, А.А.
13.05	ГОРДЕЕВ, Я.А. САДОВСКИЙ, В.П. ТЕРЕНТЬЕВ
	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
	Газифицирование и удаление углеродных слоёв из термоядерных
	установок
13.05 -	<u>И.Е. БОРОДКИНА,</u> И.В. ЦВЕТКОВ, М.КОММ ¹
13.20	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
	¹ Институт физики плазмы, Прага, Чехия
	Влияние наклонного магнитного поля на распределение потенциала
10.00	электрического поля около обращенных к плазме поверхностей
13.20-	КОФЕ-БРЕЙК
13.40	
13.40-	<u>А.С. БЫКОВ,</u> В.Ю. СЕРГЕЕВ
13.55	ФГБОУ ВПО "Санкт-Петербургский Государственный Политехнический
	Университет"
	Гибридная модель для плазмы токамака и её применение к проекту ДЕМО-
	ТИН
13.55-	К.М. ГУТОРОВ, И.В. ВИЗГАЛОВ, В.Д. ПОПОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО, И.А. СОРОКИН
14.10	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
	Методики тестирования обращенных к плазме элементов ТЯР
14.10-	И.М. ТИМОФЕЕВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, В.С. ЕФИМОВ, А.А. ПИСАРЕВ
14.25	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
	Влияние состояния поверхности нержавеющей стали на захват и
	десорбцию дейтерия
14.25-	<u>Д.А. ТРУФАНОВ</u> , Е.Д. МАРЕНКОВ, В.А. КУРНАЕВ
14.40	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
	Энергетические потери ионов низких энергий при прохождении тонких
	пленок
14.40-	<u>Д.К. КУТОВ,</u> Е.Д. МАРЕНКОВ, В.А. КУРНАЕВ, К. НОРДЛУНД ¹
14.55	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
	университет Хельсинки, Финляндия
	Моделирование методом молекулярной динамики напыления
	углеводородных пленок на вольфрам

Заседание №2

	Пятница, 31 января начало в 10.00
10.10-	С.И. КРАШЕНИННИКОВ ¹ , А.А. ПИСАРЕВ ²
10.30	¹Калифорнийский университет Сан-Диего, США
	² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
	Перспективы новой лаборатории по взаимодействию плазмы с
	поверхностью в НИЯУ МИФИ
10.30-	B.A. KYPHAEB
11.00	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
	Итоги ITPA совещания в г.Каназава (Япония) в январе 2014
11.10-	$C.B.MИРНОВ^{1}$, А.В.ВЕРТКОВ ² , Н.Т.ДЖИГАЙЛО ¹ , С.П.ДЖУРИК ¹ , М.Ю.ЖАРКОВ ² ,
11.25	$C.И.КРАВЧУК^{1}$, В.Б.ЛАЗАРЕВ 1 , И.Е.ЛЮБЛИНСКИЙ 2 , В.М.НЕСТЕРЕНКО 1 ,
	А.Н.ЩЕРБАК ¹
	¹ФГУП ГНЦ ТРИНИТИ, Троицк
	² ОАО «Красная Звезда»
	Эксперименты по захвату лития криогенной мишенью в тени литиевого
	лимитера в ходе разряда на токамаке Т-11М и следующие из них выводы
11.25	<u>Б.Н. КОЛБАСОВ,</u> В.И. ХРИПУНОВ, А.Ю. БИРЮКОВ
11.50	Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
	О некоторых особенностях применения бериллия в термоядерных
	реакторах: ресурсы, примеси, детритизация
11.50-	Перерыв на кофе
12.10	

12.10- 12.30	А.А. АЙРАПЕТОВ 1 , <u>Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ1</u> , О.И. БУЖИНСКИЙ 2 , С.В. ВЕРГАЗОВ 1 , А.В. ВЛАСЮК 1 , А.Н. ВОЙТЮК 1 , А.В. ГРУНИН 1 , А.А. ГОРДЕЕВ 1 , А.М. ЗАХАРОВ 1 , А.М. КАЛАЧЕВ 1 , Н. КЛИМОВ 2 , Я.А. САДОВСКИЙ 1 , П.А. ШИГИН 1 , С.А. БЕГРАМБЕКОВА 1
	¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
	2 ФГУП ГНЦ ТРИНИТИ, Троицк
	Формирование покрытия карбида бора в плазме и его поведение при
10.00	интенсивном плазменном облучении А.Б. ПУТРИК ¹ , Н.С. КЛИМОВ ¹ , Ю.М. ГАСПАРЯН ² , В.С. ЕФИМОВ ² , В.А. БАРСУК ¹ ,
12.30 - 12.50	A.B. ПУТРИК, Н.С. КЛИМОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, В.С. ЕФИМОВ, В.А. БАРСУК, А.М. ЖИТЛУХИН ¹ , В.Л. ПОДКОВЫРОВ ¹ , А.Д. ЯРОШЕВСКАЯ ¹ , Д.В.
12.50	КОВАЛЕНКО ¹
	1 ФГУП ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Троицк
	² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
	Формирование продуктов эрозии обращенных к плазме материалов при
	характерных для ИТЭР переходных плазменных нагрузках на плазменном
	ускорителе КСПУ-Т
12.50-	ХРИПУНОВ Б.И., ГУРЕЕВ В.М., ДАНЕЛЯН Л.С., ЗАТЕКИН В.В., КОЙДАН В.С.,
13.10	КОРНИЕНКО С.Н., КУЛИКАУСКАС В.С., ЛАТУШКИН С.Т., ПЕТРОВ В.Б.,
	РЯЗАНОВ А.И., СЕМЕНОВ Е.В., СТОЛЯРОВА В.Г., УНЕЖЕВ Е.В.
	Воздействие больших потоков плазмы на вольфрам, поврежденный
	высокоэнергичными ионами
13.10-	$B.\Pi.$ БУДАЕВ, Ю.В. МАРТЫНЕНКО, А.В. КАРПОВ, Н.Е. БЕЛОВА, А.М.
13.30	$\overline{\text{ЖИТЛУХИН}^2}$, H.C. КЛИМОВ ² , В. Л. ПОДКОВЫРОВ ² , В.А. БАРСУК ² , А. Б.
	ПУТРИК 2 , А.Д. ЯРОШЕВСКАЯ 2 , Р.Н. ГИНИЯТУЛИН 3 , И.В. МАЗУЛЬ 3 , В. М.
	САФРОНОВ ⁴ , Л.Н. ХИМЧЕНКО ⁴
	¹НИЦ «Курчатовский институт», Москва,
	² ФГУП ГНЦ ТРИНИТИ, Троицк
	^³ ФГУП НИИЭФА им. Д.В. Ефремова», СПетербург ⁴Проектный центр ИТЭР, Москва
	Рекристаллизация и растрескивание вольфрама при ожидаемых в ИТЭР
	тепловых нагрузках
13.30-	Перерыв на обед
14.30	
14.30-	И. БЫКОВ, Х. БЕРГСОКЕР, П. ПЕТЕРССОН, Я. ЛИКОНЕН, И. ПОССНЕРТ
14.50	¹ Fusion Pasma Physics, Royal Institute of Technology (KTH), Sweden
	² VTT, Association EURATOM-TEKES, Otaniemi, Finland
	³ Uppsala Universitet, Sweden
	КОМБИНИРОВАННЫЙ SEM И u-IBA АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТЕЙ,
= 0	ОБЛУЧЕННЫХ В ДИВЕРТОРЕ УСТАНОВОК УТС
14.50-	O. V. OGORODNIKOVA ¹ , K. SUGIYAMA ¹ , Ł. CIUPIŃSKI ² , J. GRZONKA ² , YU.
15.10	GASPARYAN ³ , V. EFIMOV
	¹ Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Germany ² Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland
	National Research Nuclear University "MEPHI", Moscow, Russia
	Production and recovery of radiation-induced defects in tungsten
15.10-	И.Е. ЛЮБЛИНСКИЙ ¹ , А.В. ВЕРТКОВ ¹ , В.В. СЕМЕНОВ ¹ , М.Ю.ЖАРКОВ ¹ , В.П.
15.30	KPACUH ²
	[†] ОАО «Красная Звезда», Москва
	² Московский государственный индустриальный университет, Москва
	Сравнительная оценка коррозионной стойкости в легкоплавких металлах
	ванадиевых сплавов как материалов термоядерных энергетических
	систем
15.30-	И.Е. ЛЮБЛИНСКИЙ¹, А.В. ВЕРТКОВ¹, М.Ю. ЖАРКОВ¹, И.Л. ТАЖИБАЕВА²
15.50	¹ ОАО «Красная Звезда», Москва, РФ
	² Институт атомной энергии НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан
1	Основные результаты реализации проекта модуля литиевого дивертора
	на основе капиллярно-пористых систем для токамака КТМ

Программа IX российской конференции

«Современные методы диагностики плазмы и их применение» НИЯУ МИФИ 5-7 ноября 2014

СРЕДА 5-7 НОЯБРЯ 2014 г.

ВРЕМЯ	ДОКЛАД	
10:00	ОТКРЫТИЕ	
10:30	С.А. Пикуз И.Ю. Скобелев, А.Я. Фаенов, Т.А. Пикуз, Н.М. Нагорский, М.А. Алхимова РЕНТГЕНОВСКАЯ ИЗОБРАЖАЮЩАЯ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ВЕЩЕСТВА С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ЭНЕРГИИ.	
11:00	Л.А. Душина, Д.С. Корниенко, А.Г. Кравченко, В.П. Лазарчук, Д.Н. Литвин, В.В. Мисько, А.Н. Рукавишников, А.В. Сеник, К.В. Стародубцев, В.М. Тараканов, А.Е. Чаунин МНОГОКАДРОВЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ФОТОХРОНОГРАФ МИКРОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА СЭР-7 И МЕТОДИКИ РЕГИСТРАЦИИ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ НА ЕГО ОСНОВЕ	
11:20	В.В. Джангобегов ИССЛЕДОВАНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ИМПЛОЗИИ ПРОВОЛОЧНЫХ И ВОЛОКОННЫХ ЛАЙНЕРОВ НА УСТАНОВКЕ АНГАРА-5-1	
11:40	КОФЕ	
12:00	Д.С. Корниенко, А.Г. Кравченко, Д.Н. Литвин, В.В. Мисько, А.Н. Рукавишников, А.В. Сеник, К.В. Стародубцев, В.М. Тараканов, А.Е. Чаунин МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПЕРЕНОСА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЗАМКНУТЫХ ПОЛОСТЯХ И В РЕЖИМЕ ТЕПЛОВОГО ПРОБОЯ	
12:20	Н.М. Ромашкина, А.Н. Мунтян, С.И. Петров, С.С. Таран АНАЛИЗ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ ИЗ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ И ПЛАЗЫ УТС	
12:40	Д.В. Малахов, Н.Н. Скворцова, Д.Г. Васильков, В.А. Смирнов, Б.А. Тедтоев, А.К. Горшенин, А.Д. Черноусов ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ МЕТОДЫ СБОРА ДАННЫХ В ПЛАЗМЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ (НА ПРИМЕРЕ СОЗДАНИЯ НОВОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ СТЕЛЛАРАТОРА Л-2М)	
13:00	ПЕРЕРЫВ	
14:00	Кузнецов А.П. Квадратурная лазерная интерферометрия в диагностике импульсной плазмы	
14:30	Н.Н. Скворцова, Д.В. Малахов, А.А. Харчевский, А.Ю. Чирков, В.Ю. Королев, А.К. Горшенин Исследование градиентных неустойчивостей в плазме стелларатора Л-2М методом Допплеровской рефлектометрии.	
14:50	А.Н. Чумаков, Н.А. Босак, А.В. Панина УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ПЛАЗМЫ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ БИХРОМАТИЧЕСКОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА МАТЕРИАЛЫ В ГАЗАХ	
15:10	И.С. Никончук, А.Н. Чумаков ДИАГНОСТИКА ИМПУЛЬСНОЙ ПЛАЗМЫ С УЧЕТОМ РЕАБСОРБЦИИ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ	
15:30	КОФЕ	
15:50	В.К. Гончаров, К.В. Козадаев, Е.П. Микитчук, А.Г. Новиков КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЛАЗЕРНОИНДУЦИРОВАННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ	
16:10	Д.Г. Васильков, С.А. Маслов, Ю.В. Хольнов, Н.Н. Скворцова Вейвлет-анализ параметров флуктуаций краевой плазмы в стеллараторе Л-2М.	
16:30	Г.М. Батанов, В.Д. Борзосеков, Л.Д. Исхакова, Л.В. Колик, Е.М. Кончеков, А.А. Летунов, Д.В. Малахов, Ф.О. Милович, Е.Д. Образцова, Е.А. Образцова, А.Е. Петров, И.Г. Рябикина, К.А. Сарксян, В.Д. Степахин, Н.К. Харчев, Н.Н. Скворцова Метод синтеза частиц микро и нано размеров в микроволновом разряде, инициируемом излучением гиротрона	

ЧЕТВЕРГ 6 НОЯБРЯ 2014 Γ .

DDEL 10	HETBERT 6 HONDEYN 2014 I.			
ВРЕМЯ	ДОКЛАД			
	И.Г. Малютин			
10:00	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ Z-ПИНЧА НА			
	УСТАНОВКЕ АНГАРА-5-1			
	Е.Д. Вовченко, К.И. Козловский, А.Е. Шиканов			
10:30	МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ УСКОРЕНИЯ ИОНОВ, ИЗВЛЕКАЕМЫХ ИЗ			
	ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В ДИОДЕ С МАГНИТНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ			
	Н.А. Мустафин, А.В. Сушков			
11:00	ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОПРОВОЛОЧНОГО ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО			
	ДЕТЕКТОРА В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА ТОКАМАКЕ Т-10			
	Г.М. Асадулин, И.С. Бельбас, А.В. Горшков			
11:20	РАЗРАБОТКА ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТОМСОНОВСКОГО			
11.20	РАССЕЯНИЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ Т-15			
11:40	КОФЕ			
11.40	В.А. Токарев, Н.А. Хромов			
12:00	ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИСТЕНОЧНОЙ ПЛАЗМЫ С ПОМОЩЬЮ ПОДВИЖНОГО			
12.00	ЛЕНГМЮРОВСКОГО ЗОНДА НА ТОКАМАКЕ ГЛОБУС-М			
12.20	Д.С. Лапицкий			
12:20	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДА МИКРОЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ ЛИНЕЙНОЙ ЛОВУШКИ			
	ПАУЛЯ С ТОРЦЕВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ			
	В.С. Неверов, А.Б. Кукушкин, А.Г. Алексеев			
12:40	МЕТОД ИНТЕРПРЕТАЦИИ БАЛЬМЕР-АЛЬФА СПЕКТРОСКОПИИ ВЫСОКОГО			
	РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ПРИСТЕНОЧНОЙ ПЛАЗМЫ ТОКАМАКА С УЧЕТОМ			
	РАССЕЯННОГО ДИВЕРТОРНОГО СВЕТА			
13:00	ПЕРЕРЫВ			
14:00	G. Van Oost			
1	ADVANCED PROBES FOR BOUNDARY PLASMA DIAGNOSIS IN FUSION DEVICES			
	Г.Ф. Авдеева, И.В.Мирошников			
14:20	CXRS ИЗМЕРЕНИЯ ИОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В NBI РАЗРЯДАХ СФЕРИЧЕСКОГО			
	ТОКАМАКА ГЛОБУС-М			
	Л.А. Ключников, Н.Н. Науменко, В.А. Крупин, В.И. Тройнов, К.В Коробов., С.Н.			
14:40	Тугаринов, А.Р. Немец, Ф. В. Фомин, М.Р. Нургалиев, Д.С. Деньщиков			
14.40	МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ CXRS ДИАГНОСТЙКА ТОКАМАКА Т–10. ИЗМЕРЕНИЯ			
	ПРОФИЛЕЙ ИОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ			
	Нургалиев М.Р., Крупин В.А., Ключников Л.А., Коробов К.В., Немец А.Р., Горбунов			
15.00	А.В., Тройнов В.И., Фомин Ф.В., Деньщиков Д.С.			
15:00	ИЗМЕРЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЯДЕР ПРИМЕСЕЙ С ПОМОЩЬЮ			
	МОДЕРИНИЗИРОВАННОЙ CXRS ДИАГНОСТИКИ НА ТОКАМАКЕ T-10			
15:20	КОФЕ			
	А.М. Зимин, В.И. Тройнов и др.			
15:40	РЕГИСТРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ МОЛЕКУЛ ДЕЙТЕРИЯ В ТОКАМАКЕ Т-10			
	Б. Чектыбаев, Г. Шаповалов			
16:00	СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПЛАЗМЕННОГО ШНУРА ТОКАМАКА КТМ. ДИЗАЙН И			
10.00	ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ			
	С.Ю. Донецкий, Д.В. Сарычев			
16:20	С.Ю. донецкии, д.в. Сарычев ПРИМЕНЕНИЕ ДЕТЕКТОРОВ РАДИАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РЕЖИМОВ			
	С РАЗЛИЧНЫМ УДЕРЖАНИЕМ ПРИМЕСЕЙ НА ТОКАМАКЕ Т-10			
	Л.И. Огнев, В.С. Лисица			
46				
16:40	К ПРОБЛЕМЕ РЕГИСТРАЦИИ СПЕКТРОВ ПРИСТЕНОЧНОЙ ПЛАЗМЫ НА ФОНЕ			
16:40	К ПРОБЛЕМЕ РЕГИСТРАЦИИ СПЕКТРОВ ПРИСТЕНОЧНОИ ПЛАЗМЫ НА ФОНЕ МОЩНОГО ОТРАЖЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДИВЕРТОРА Стендовые доклады			

ПЯТНИЦА 7 НОЯБРЯ 2014 Г.

ВРЕМЯ	
10:00	Чижов П.А., Букин В.В., Гарнов С.В. ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЕННОГО КАНАЛА ФЕМТОСЕКУНДНОГО ФИЛАМЕНТА МЕТОДОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ
10:30	Е.О. Баронова, А.М. Степаненко

	КАЛИБРОВОЧНЫЙ ИСТОЧНИК НА ОСНОВЕ КАПИЛЛЯРНОГО РАЗРЯДА			
11:00	Д.Б. Золотухин ПАРАМЕТРЫ ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЫ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ В ФОРВАКУУМНОЙ ОБЛАСТИ ДАВЛЕНИЙ			
11:20	Ионин А.А., Киняевский И.О., Климачев Ю.М., Козлов А.Ю., Котков А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ КИНЕТИКИ МОЛЕКУЛ ОКСИДА АЗОТА ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОИОНИЗАЦИОННЫМ РАЗРЯДОМ			
11:40	КОФЕ			
12:00	Р.А. Сыроватка, В.И. Владимиров, Л.В. Депутатова, Д.С. Лапицкий, В.Я. Печеркин ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОДИНОЧНОЙ МАКРОЧАСТИЦЫ В ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЛОВУШКЕ			
12:20	А.В. Грунин, Л.Б. Беграмбеков, А.А. Айрапетов и др. МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЙ ЗОНД ДЛЯ ТОКАМАКА WEST			
12:40	Г.В. Крашевская, Ю.А. Лебедев, М.А. Гоголева ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ АЗОТНОЙ ПЛАЗМЫ ЭЛЕКТРОДНОГО МИКРОВОЛНОВОГО РАЗРЯДА			
13:00	ПЕРЕРЫВ			
14:00	М.Ю. Пустыльник ОПТОГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТЯМИ В ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЕ			
14:30	Ю.М. Климачев ДИАГНОСТИКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ С ПОМОЩЬЮ ИЗЛУЧЕНИЯ СО ЛАЗЕРА (5,0-7,5 МКМ)			
14:50	А.А. Касатов НАБЛЮДЕНИЕ ЭРОЗИИ МЕТАЛЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НАГРЕВА ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ БОЛЬШОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ			
15:10	В.М. Трухин, Д.В. Рыжаков, Е.А. Шестаков ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ДЕТЕКТОРА			
15:30	КОФЕ			
15:50	Д.Е. Прохорович, А.Н. Долгов и др. ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ КОРПУСКУЛЯРНЫХ ПОТОКОВ В ИОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НЕЙТРОННОЙ ТРУБКИ			
16:10	В.А. Левченко ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОРАЗРЯЛНЫМИ ЛАМПАМИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ДАВЛЕНИИ БУФЕРНОГО ГАЗА МЕНЕЕ 1 ТОРР			
16:30	И.Ю. Скобелев, А.Я. Фаенов, Т.А. Пикуз, Н.М. Нагорский, С.А. Пикуз РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ЛАЗЕРНО-КЛАСТЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.			
16:50	ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ			

СТЕНДОВЫЕ,	ДОКЛАДЫ
------------	---------

Д.В. Янин, А.Г. Галка, А.В. Костров, А.И. Смирнов, А.В. Стриковский

РЕЗОНАНСНАЯ БЛИЖНЕПОЛЬНАЯ СВЧ-ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЫ И ДРУГИХ МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕД

Д.Л. Кирко, А.С. Савелов

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАЗМЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПРИ РАЗРЯДЕ В ЭЛЕКТРОЛИТЕ

В.А. Урусов

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПРИ УСЛОВИИ ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТ УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ВХОДЕ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ СПЕКТРОМЕТР

С.В. Королев

КОРРЕКТНЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ПЛАЗМЫ

А.В. Баловнев, И.В. Визгалов, Г.Х. Салахутдинов

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВТОРИЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ

ЭМИССИИ В АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА

Ф.Ф. Кадыров

ОСАЖДЕНИЕ БИОСОВМЕСТИМОГО БАКТЕРИЦИДНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЭНДОПРОТЕЗОВ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

О.А. Башутин, А.С. Савелов

СПЕКТРО-ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПУЧКОВ НЕТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ВАКУУМНОМ ИСКРОВОМ РАЗРЯДЕ

С.В. Серов, С.Н. Тугаринов, М. von Hellermann, Л.А. Ключников, В.А. Крупин

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА СПЕКТРОВ АКТИВНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ УСТАНОВКИ Т-10

О. Б. Ананьин, О.А. Башутин, Г.С. Богданов, Е.Д. Вовченко, И.А. Герасимов, Я.М. Двоеглазов, А.П. Мелехов, А.С. Савелов, И.Ф. Раевский, Е.Д. Филиппов

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ С ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМОЙ

М.А. Алхимова, О.Б. Ананьин, Г.С. Богданов, Е.Д. Вовченко, А.П. Мелехов, Р.Ш. Рамакоти, А.С. Савелов

ИСТОЧНИК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ НА ОСНОВЕ ВАКУУМНОГО РАЗРЯДА С ЛАЗЕРНЫМ ПОДЖИГОМ

Н.В. Мамедов, Д.Н. Синельников, Д.В. Колодко, Н.А. Соловьев, А.И. Калиненков, В.А. Курнаев, О.Л. Вайсберг, А.Ю. Шестаков, Д.А. Моисеенко, Р.Н. Журавлев

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ КОНВЕРТЕРА НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ПРИБОРА «АРИЕС-Л»

О.Б. Ананьин, Г.С. Богданов, И.А.Герасимов, А.П. Кузнецов, А.П. Мелехов, В. Пирог ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКОГО ПЛАЗМЕННОГО СЛОЯ ДЛЯ СГЛАЖИВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.В. Вихрев, С.В. Суслин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ И ВЕЩЕСТВА В УСТАНОВКАХ С ПЛАЗМЕННЫМ ФОКУСОМ

Э.И Додулад, В.А. Костюшин, А.С. Савёлов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ, ЭМИТИРУЕМОЙ МИКРОПИНЧЕВЫМ РАЗРЯДОМ, С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСНОЙ КОРПУСКУЛЯРНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Е.А. Мещерякова, М.С. Зибров, Г.В. Ходаченко

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИНДУКЦИОННОГО РАЗРЯДА

М.М. Харьков, А.В. Казиев, Г.В. Ходаченко

ОПТИЧЕСКАЯ РЕГИСТРАЦИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СТРУКТУРЫ ИМПУЛЬСНОГО МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА

И.А. Сорокин, И.В. Визгалов

IN-SITU АНАЛИЗ ИОННОГО СОСТАВА ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЫ

ГОДОВОЙ ОТЧЕТ ПО НИР КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ ЗА 2014 г.

22-й выпуск

Под редакцией В.А. Курнаева

Оригинал-макет подготовлен Степаненко А.А.

Подписано в печать 29.06.2015	Формат 60×84 1/8	
Учизд. л. 8,0	Печ. л. 8,0	Тираж 100 экз.
Изд. № 020-2	Заказ 110	

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