

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

**ГОДОВОЙ ОТЧЕТ ПО НИР
КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ И ЛАБОРАТОРИИ
«ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ И
ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» НИЯУ МИФИ ЗА 2015 г.**

Под редакцией В.А. Курнаева и А.А. Писарева

Москва 2016

**ГОДОВОЙ ОТЧЕТ ПО НИР КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ И ЛАБОРАТОРИИ
«ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ И ПЛАЗМЕННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ» НИЯУ МИФИ ЗА 2015 г. / Под ред. В.А. Курнаева и А.А.Писарева М.:
НИЯУ МИФИ, 2016. – 72 с.**

Отчет кафедры физики плазмы и лаборатории «Взаимодействие плазмы с поверхностью и плазменные технологии» НИЯУ МИФИ за 2015 год содержит краткое изложение основных результатов теоретических, расчетных, экспериментальных и технологических исследований и разработок, выполненных штатными сотрудниками, аспирантами и студентами кафедры, а также сотрудниками лаборатории. 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 подразделений, опубликованных работах, перечень защищенных дипломных работ, диссертаций и исследовательских работ школьников, участвующих в научных работах. В приложениях дается также краткая информация о проведенных в 2015 г. кафедрой научных конференциях.

This annual report of the Plasma Physics Department (PPD) and laboratory “Plasma surface interaction and plasma technology” of National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute) for 2015 represents main results of theoretical, numerical, experimental and technological investigations obtained by faculty and scientific stuff as well as by students in 2015. 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 departments in 2015 are given. The short information on conferences held by the Department in 2015 is also presented.

Редакционная коллегия

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

СОДЕРЖАНИЕ

1. ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

С.И. КРАШЕНИННИКОВ, А.С. КУКУШКИН, И А.А. ПШЕНОВ Роль энергобаланса в процессе детачмента.....	6
А.А. СТЕПАНЕНКО, В. ЛИ, С.И. КРАШЕНИННИКОВ Динамика плазменных филаментов в магнитном поле с произвольной геометрией	7
И.Е. БОРОДКИНА, И.В. ЦВЕТКОВ Учет вторичной электронной эмиссии при оценке распыления обращенных к плазме поверхностей в наклонном магнитном поле	8
Е.Д. МАРЕНКОВ, С.И. КРАШЕНИННИКОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН Влияние многоместного захвата на транспорт водорода в твердом теле.....	9
А.А. ЕКСАЕВА, Е.Д. МАРЕНКОВ, Д. БОРОДИН, А. КРЕТЕР, М. РАЙНХАРТ, А. КИРШНЕР, Ю. РОМАЗАНОВ, С. БРЕЗИНСЕК Влияние долгоживущих уровней нейтрального вольфрама на результаты спектроскопических измерений в линейных плазменных установках	10

2. ФИЗИКА РАЗРЯДОВ

Ю.В. БОРИСЮК, Н.М. ОРЕШНИКОВА, Д.В. МОЗГРИН, Т.В. СТЕПАНОВА, А.А. ПИСАРЕВ Исследование импульсно-периодического аномального тлеющего разряда в N_2 , Ar, H_2 и их смесях ...	11
К.М. ГУТОРОВ, И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ Определение режимов пучково-плазменного разряда в ПР-2	12
О.А. КОВАЛЬ, И.В. ВИЗГАЛОВ Изучение динамики и зарядки пылевых частиц в пучково-плазменном разряде	13
Е.А. МЕЩЕРЯКОВА, А.В. КАЗИЕВ, М.С. ЗИБРОВ, М.М. ХАРЬКОВ, Т.В. СТЕПАНОВА, А.А. ПИСАРЕВ Экспериментальное исследование плазмы высокочастотного индукционного разряда низкого давления в магнитном поле	14
О.А. БАШУТИН, Е.Д. ВОВЧЕНКО, А.С. САВЕЛОВ, П.П. СИДОРОВ Динамика формирования плазмы в разрядном промежутке микропинчового разряда при различной полярности напряжения на электродах	15
Д.Л. КИРКО, А.С. САВЕЛОВ, И.Д. ЕГОРОВ Изучение взаимодействия капиллярного разряда с металлическими фольгами	16

3. ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЫ

И.В. ВИЗГАЛОВ, И.Л. МАНОХИН Рентгеновская диагностика аномальной электронной эмиссии в ВЧ автоколебательном режиме пучково-плазменного разряда.....	17
И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ, К. БРАНДТ, А. КРЕТЕР Исследование ионного состава плазмы благородных газов на установке PSI-2	18
Э.И. ДОДУЛАД, В.А. КОСТЮШИН, И.Ф. РАЕВСКИЙ, С.А. САРАНЦЕВ Влияние материалов электродов на спектр излучения разряда типа сильноточная низкоиндуктивная вакуумная искра.....	19
Е.Д. ФИЛИППОВ, С.А. ПИКУЗ, И.Ю. СКОБЕЛЕВ, ДЖ. ФУКС, Г.РЕВЕ Параметры сверхзвуковых плазменных струй, коллимированных полоидальным магнитным полем, измеренные с помощью методов рентгеновской спектроскопии.....	20
М.А. АЛХИМОВА, С.А. ПИКУЗ, А.С. САВЕЛОВ Спектральный анализ сверхъяркого источника рентгеновского излучения, формирующегося в плотной релятивистской лазерной плазме	21

4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ С ВЕЩЕСТВОМ

О.В. ОГОРОДНИКОВА, В.В. ГАНН, Ю.М. ГАСПАРЯН Радиационные повреждения вольфрама и мало-активируемых сталей нового поколения и их влияние на захват дейтерия	22
А.Е. ЕВСИН, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, И.Р. ВАХИТОВ, А.И. ГУМАРОВ, Н.Ф. КАШАПОВ, А.Г. ЛУЧКИН, Л.Р. ТАГИРОВ, Н.В. ЯНИЛКИН Влияние модификации поверхности циркония ионами аргоновой плазмы на захват дейтерия при облучении атомами с тепловыми энергиями	23
А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, И.Ю. ГРЕЦКАЯ, А.В. ГРУНИН, М.Ю. ДЬЯЧЕНКО, Н.А. ПУНТАКОВ, Я.А. САДОВСКИЙ Осаждение и тестирование покрытия карбида бора на вольфрамовой подложке	24
А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, И.Ю. ГРЕЦКАЯ, А.В. ГРУНИН, М.Ю. ДЬЯЧЕНКО, Н.А. ПУНТАКОВ, Я.А. САДОВСКИЙ Термоциклирование и облучение потоком ионов водорода высокой плотности мощности вольфрамовых слоев, осажденных на вольфраме	25
В.С. ЕФИМОВ, А.Г. ПОСКАКАЛОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, К. БЫСТРОВ Определение содержания гелия в вольфрамовом «пухе» методом термодесорбционной спектроскопии	26
С.А. РЯБЦЕВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, М.С. ЗИБРОВ, А.А. ПИСАРЕВ Отжиг точечных радиационных дефектов в вольфраме, созданных кэвными ионами дейтерия	27
Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, D. HWANGBO, S. КАЛТА, N. OHNO, Д.Г. БУЛГАДАРЯН, В.А. КУРНАЕВ, Д.В. КОЛОДКО Модификация наноструктурированных поверхностей вольфрама в результате вакуумного пробы	28
Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, Д.Г. БУЛГАДАРЯН, Д.В. КОЛОДКО, В.А. КУРНАЕВ Предпробойные токи с поверхности наноструктурированного вольфрама после облучения ионами ксенона	29

5. ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Т.В. СТЕПАНОВА, А.В. КАЗИЕВ, А.В. ТУМАРКИН, М.М. ХАРЬКОВ, М.М. БЕРДНИКОВА, А.А. ПИСАРЕВ, М.В. АТАМАНОВ, Н.Ф. ИЗМАЙЛОВА Магнетронное осаждение защитных TiN покрытий на изделиях из сплава AA2139	30
Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.С. КАПЛЕВСКИЙ, Я.А. САДОВСКИЙ Обезгаживание стенок вакуумной камеры при ее облучении плазмой с примесью кислорода	31
С.А. КРАТ, А.С. ПОПКОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ, И.А. ЩЕЛКАНОВ, Д.Н. РУЗИК Смачивание поверхности твердых литиевых соединений жидким литием	32
А.А. ПИСАРЕВ, Г.М. ТАРАСЮК, В.В. КОЗЛОВА, А.Ю. РЫЧАГОВ, К.К. ДЕНЬЩИКОВ Плазменная обработка углеродного электрода суперконденсатора	33
Я.М. ДВОЕГЛАЗОВ, И.Ф. РАЕВСКИЙ, А.С. САВЁЛОВ, С.А. САРАНЦЕВ, В.А. ФЕСЕНКО Анализ микротвердости катода после 50 разрядов СНВИ	34
Я.М. ДВОЕГЛАЗОВ, И.Ф. РАЕВСКИЙ, С.А. САРАНЦЕВ Модификация стекла под действием потоков вещества из межэлектродного промежутка СНВИ	35

6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПРИБОРЫ

И.А. СОРОКИН, О.А. БИДЛЕВИЧ, И.В. ВИЗГАЛОВ Встраиваемый диагностический модуль для установки ПР-2	36
Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.Н. ВОЙТЮК, А.М. ЗАХАРОВ Разработка и испытания электростатического зонда для сбора пылевых частиц в термоядерных - установках	37
А.С. ПОПКОВ, С.А. КРАТ, Ю.М. ГАСПАРЯН, Я.А. ВАСИНА, А.А. ПИСАРЕВ Модернизация установки МР-2 для изучения соосаждения дейтерия и лития	38

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Перечень трудов кафедры и лаборатории №377 за 2015 год.....	39
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Дипломные проекты, защищенные студентами кафедры в 2015 году с присвоением квалификации инженер-физик, защищенные диссертации, летняя практика школьников.....	57
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Список сотрудников и аспирантов кафедры и лаборатории №377	61
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Именной указатель авторов работ.....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Программа конференции центра «Плазменные, лазерные исследования и технологии» Секция «Физика плазмы и управляемый ядерный синтез» НИЯУ МИФИ, 29-30 января 2015 г.	64
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Программа 18-й конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», НИЯУ МИФИ, 5-6 февраля 2015 г.	67

1. ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

РОЛЬ ЭНЕРГОБАЛАНСА В ПРОЦЕССЕ ДЕТАЧМЕНТА

С.И. КРАШЕНИННИКОВ, А.С. КУКУШКИН, И А.А. ПШЕНОВ

Целью работы была проверка основных результатов, полученных при помощи простых нульмерных и «двухточечных» моделей в цикле работ С.И. Крашенинникова и соавторов, качественного аналитического рассмотрения процесса детачмента (отрыва) плазмы от поверхности диверторных пластин. В этих работах, путем анализа энергобаланса пристеночной плазмы токамака, была продемонстрирована ведущая роль механизмов объемной рекомбинации плазмы и излучения примесей при переходе от режима с сильным рециклингом к детачменту. Для проверки аналитических результатов был использован двумерный код SOLPS4.3. Моделирование проводилось в упрощенной геометрии диверторного токамака, построенной вокруг магнитной конфигурации, подобной токамаку DIII-D. Рассматривался процесс детачмента в чистой водородной плазме в приближении «замкнутой системы», т.е. в качестве входных параметра использовались: N_{3D} - суммарная плотность частиц (включая нейтралы) в диверторе и Q_{SOL} - мощность поступающая на периферию из центральной области шнура. Излучение примесей моделировалось при помощи искусственного добавления стока мощности, Q_{imp} , локализованного вблизи области $T_e = 15$ eV.

Проведенные расчеты полностью подтвердили теоретические представления о том, что «завал» тока насыщения на диверторные пластины (являющийся основным экспериментальным проявлением перехода к режиму детачмента) обусловлен влиянием объемной рекомбинацией плазмы и излучением примесей (рис.1). Было подтверждено предположение, о том, что детачмент начинается при превышении отношением P_{up} / q_{recycl} (где P_{up} - давление плазмы на сепаратрисе, а q_{recycl} - поток мощности, достигающий области рециклинга) определенного порогового значения (рис.2). Кроме того, показано, что «сброс импульса» в результате трения между плазмой и нейтралами, зачастую рассматриваемый в качестве основного механизма, ответственного за «завал» тока насыщения, играет второстепенную, хотя и важную, роль, обеспечивая высокую плотность в диверторе.

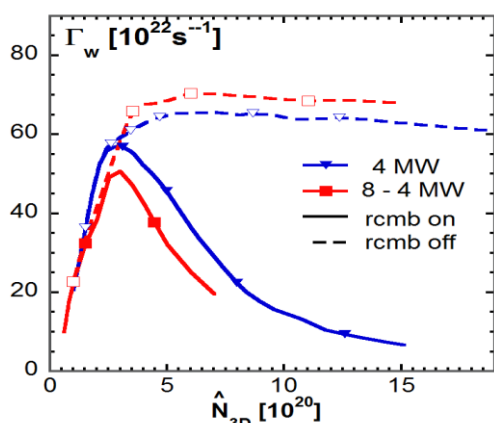


Рис.1. Зависимость потока плазмы на диверторную пластину от полного числа частиц (ионы+нейтралы) в диверторе.

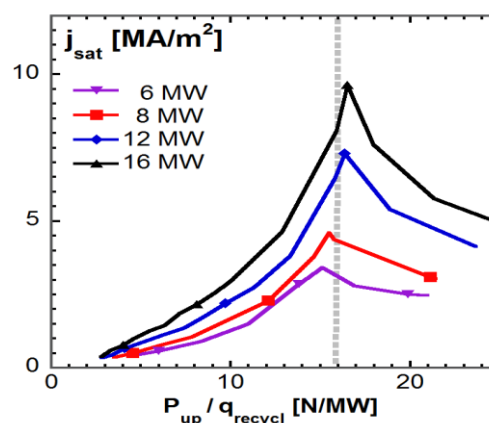


Рис.2. Зависимость тока насыщения на диверторную пластину от отношения давления на сепаратрисе к потоку мощности, достигающей области рециклинга.

ДИНАМИКА ПЛАЗМЕННЫХ ФИЛАМЕНТОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ С ПРОИЗВОЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

А.А. СТЕПАНЕНКО, В. ЛИ*, С.И. КРАШЕНИННИКОВ

*Калифорнийский университет Сан Диего, Сан Диего (США)

Динамика плазменных филаментов, или блобов, встречающихся в различных плазменных установках, начиная от лабораторных и заканчивая термоядерными установками, является важным физическим аспектом, определяющим работу этих машин [1]. За последние несколько десятилетий вопросы, связанные с анализом движения блобов, исследовались многими авторами (обзор этих работ может быть найден, например, в [2, 3]). Одним из модельных предположений, широко используемым в теоретических работах на эту тему, является предположение о том, что плазменный филамент движется в магнитном поле с прямыми параллельными силовыми линиями. Во многих плазменных средах, однако, это условие может не выполняться, поэтому исследование влияния, которое геометрия магнитного поля оказывает на динамику блоба, представляет значительный интерес.

В настоящей работе в электростатическом пределе получены результаты анализа движения блобов, контактирующих с материальными поверхностями (например, тайлами дивертора токамака) в магнитном поле с произвольной геометрией. Продемонстрировано, что в случае, когда распределение плазмы на торцах блоба отлично друг от друга, эта разница приводит к формированию в блобе ненулевого распределения потенциала, приводящего к движению филамента даже в отсутствии кривизны силовых линий магнитного поля или каких-либо иных источников поляризации плазмы. Для магнитных полей с достаточно малой кривизной силовых линий и идентичной на торцах блоба метрикой продемонстрировано, что динамика блоба определяется эффективным потенциалом Φ_{eff} , не зависящим от времени и связанным лишь с начальным распределением плазмы на торцах блоба. При этом на нелинейных стадиях движения блоб примет форму, одинаковую во всех поперечных сечениях филамента.

Для случая, когда кривизна силовых линий магнитного поля не является пренебрежимо малой величиной, показано, что движение достаточно большого блоба в широм магнитном поле может значительно отличаться от движения соответствующего филамента в магнитном поле без шира. Моделирование динамики блоба в магнитном поле с токамакоподобной геометрией силовых линий показывает, что наличие магнитного шира подавляет развитие в блобе крупномасштабных желобковых мод и приводит к подобному движению плазмы филамента в радиальном и полоидальном направлениях в каждом поперечном сечении блоба, за которым следует распад плазмы филамента, связанный с развитием резистивной дрейфовой неустойчивости. Этот эффект обнаружен лишь для больших блобов и отсутствует для маленьких и средних блобов, чья динамика определяется, главным образом, развитием дрейфовой неустойчивости [4].

Список литературы:

- [1]. S.J. Zweben, et al. // Plasma Phys. Controlled Fusion. 2007. V. 49. PP. S1-S23.
- [2]. S.I. Krashennnikov, et al. // J. Plasma Phys. 2008. V. 74. No. 5. PP. 619-717.
- [3]. D.A. D'Ippolito, et al. // Phys. Plasmas. 2011. V. 18. P. 060501.
- [4]. J.R. Angus, et al. // Phys. Plasmas. 2012. V. 19. P. 082312.

УЧЕТ ВТОРИЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ ПРИ ОЦЕНКЕ РАСПЫЛЕНИЯ ОБРАЩЕННЫХ К ПЛАЗМЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ В НАКЛОННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

И.Е. БОРОДКИНА, И.В. ЦВЕТКОВ

Хорошо известно, что вторичная электронная эмиссия (ВЭЭ) сильно влияет на процессы взаимодействия плазмы с поверхностью. Эксперименты показывают, что ВЭЭ уменьшает пристеночное падение потенциала [1], что в свою очередь, уменьшает энергию падающих на поверхность ионов, а, следовательно, уменьшается распыление поверхности и количество примесей в плазме. С другой стороны возвращение части вторичных электронов на поверхность вследствие ларморовского вращения в наклонном магнитном поле уменьшает эффективный выход ВЭЭ. В данной работе исследовано влияние ВЭЭ на распределение потенциала электрического поля около ОПЭ, а также на распыление ОПЭ при наклонном магнитном поле с учетом вышеописанных процессов.

Как показано в работе [2], вторичная электронная эмиссия не влияет на величину падения потенциала в магнитном предслое. Для описания влияния ВЭЭ на распределение потенциала в дебаевском слое использовано уравнение Пуассона из [3], модифицированное с учетом наличия электрического поля на границе с магнитным предслоем и возвращения части вторичных электронов на поверхность вследствие ларморовского вращения. Численное решение данного уравнения было аппроксимировано экспоненциальной функцией [4]. Показано, что при наличии ВЭЭ ширина дебаевского слоя уменьшается.

Проведено сравнение распределений потенциала, вычисленных по аппроксимационной формуле и полученных при моделировании с помощью комбинированного PIC и Монте-Карло кода ELECTRAN [5]. Результаты хорошо согласуются в пределах 10%.

Рассчитаны распределения потенциала, а также угловые и энергетические распределения падающих на ОПЭ ионов при разных углах наклона магнитного поля с учетом ВЭЭ. Показано, что ВЭЭ снижает значение плавающего потенциала при нормальном к поверхности магнитном поле, что приводит к уменьшению энергии падающих на поверхность ионов, а также к увеличению среднего угла падения ионов на поверхность. При наклонном магнитном поле перераспределение потенциала происходит так, что электрическое поле около поверхности уменьшается из-за уменьшения положительного объемного заряда за счет увеличения концентрации электронов около поверхности. Данный эффект также приводит к увеличению среднего угла падения ионов на поверхность.

Используя полученные угловые и энергетические распределения, по формуле Экштайна были вычислены коэффициенты распыления ОПЭ при разных углах наклона магнитного поля (рис.1). Расчеты проводились для различных материалов ОПЭ. ВЭЭ практически не влияет на распыление бериллия, однако, существенно снижает распыление вольфрама при углах наклона магнитного поля меньше 80°.

Список литературы:

- [1]. S. Takamura, S. Mizoshita and N. Ohno// Phys. Plasma, 1996. 3(12) 4310.
- [2]. K.Sato, H.Katayama // J. Nucl. Mater., 1995. 220-222. 501-505.
- [3]. Бородин И.Е., Цветков И.В.// Изв. РАН. Сер.Физ. 2016, принята к публикации
- [4]. I.V. Tsvetkov, T. Tanabe // J. Nucl. Mater., 1999. 266-269. 714-720.
- [5]. K. Inai, K. Ohya, G. Kawamura, Y. Tomita// Contrib. Plasma Phys., 2010. 50. 3-5. 458-463

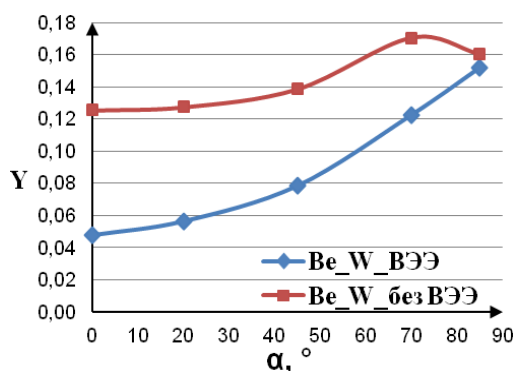


Рис.1. Зависимость распыления вольфрама налетающими ионами Be^{4+} от угла наклона магнитного поля с учетом и без учета ВЭЭ ($T_e=T_i=30$ эВ, $n=10^{12} \text{ см}^{-3}$, $B=5 \text{ Тл}$, $\Gamma_{ow}=0.86$, $\epsilon_s=0.25$, $E/(vB)=0.2$)

ВЛИЯНИЕ МНОГОМЕСТНОГО ЗАХВАТА НА ТРАНСПОРТ ВОДОРОДА В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ

Е.Д. МАРЕНКОВ¹, С.И. КРАШЕНИННИКОВ^{1,2}, Ю.М. ГАСПАРЯН¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²Калифорнийский университет Сан-Диего, США

Основными процессами, определяющими перенос водорода в твердом теле при отсутствии химических связей, являются: адсорбция молекул водорода (H_2) на поверхности или внедрение его атомов (H) в подповерхностный слой; поверхностные процессы, определяющие диссоциацию/рекомбинацию молекул; диффузия растворенного водорода в решетке; захват и освобождение H в дефекты решетки, например, в вакансии. Моделирование методом DFT показывает, что одна вакансия может захватить несколько атомов H [1]. В настоящей работе мы предлагаем схему эксперимента, который позволяет продемонстрировать влияние многоместного захвата на результаты ТДС (термодесорбционная спектроскопия).

Предлагается выполнять облучение образцов, содержащих дефекты, с увеличивающейся дозой водорода, что соответствует различной начальной степени заполненности ловушек [2]. Если эффекты перезаквата не существенны, при очень маленьких дозах только одиночные атомы могут быть захвачены, и ТДС будет иметь только один низкотемпературный пик. При больших дозах начинает играть роль многоместный захват, что приведет к постепенному появлению новых пиков на ТДС при более высоких температурах. Такое поведение качественно отличается от обычных одноместных ловушек. Последние заполнялись бы равномерно, в независимости от дозы, и все пики присутствовали бы на ТДС (рис. 1 а-б, где показано сравнение ТДС для двух типов ловушек, “two types”, и ловушек с двумя свободными местами “double types”).

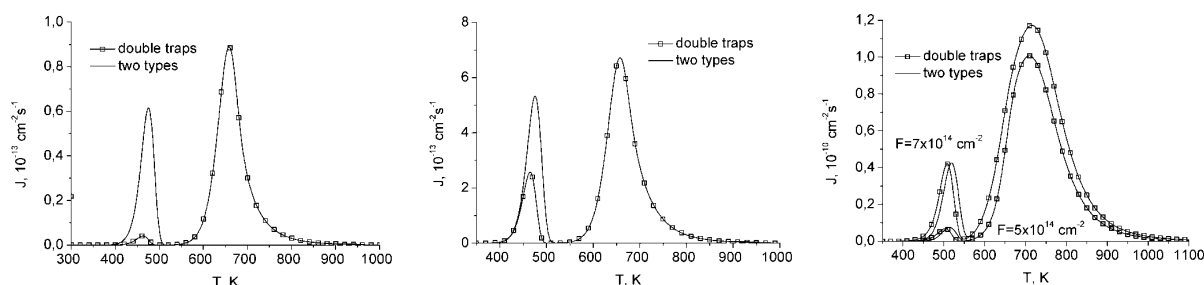


Рис. 1. Влияние дозы на ТДС для низкой концентрации ловушек, 10^{-6} (а-б) и для высокой концентрации, 10^{-4} (в)

Вместе с тем, при больших концентрациях ловушек, становятся существенными эффекты перезаквата. В результате, даже для одноместных ловушек низкотемпературный пик при маленьких дозах не проявляется, так как атомы водорода успевают при выходе захватиться в свободные ловушки с большей энергией (рис. 1 в). Нетрудно указать качественный критерий концентрации ловушек, при которой существенен перезакхват: $\bar{C} \gg \lambda^2 / x_0^2$, где λ - период решетки, а x_0 - глубина внедрения водорода. Для вольфрама при глубине внедрения порядка 50 нм, получаем: $\bar{C} \gg 10^{-5}$. Это значение соответствует результатам численных расчетов (см. рис. 1).

Список литературы:

[1] Lu G.-H., Zhou H.-B., Becquart C.S. // Nucl. Fusion. 2014. V. 54. P. 086001.

[2] Е.Д. Маренков, С.И. Крашенинников, Ю.М. Гаспарян // Поверхность. Рентгеновские и синхротронные исследования. 2016 (принята к печати).

ВЛИЯНИЕ ДОЛГОЖИВУЩИХ УРОВНЕЙ НЕЙТРАЛЬНОГО ВОЛЬФРАМА НА РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ЛИНЕЙНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ УСТАНОВКАХ

А.А. ЕКСАЕВА, Е.Д. МАРЕНКОВ, Д. БОРОДИН¹, А. КРЕТЕР¹, М. РАЙНХАРТ¹,
А. КИРШНЕР¹, Ю. РОМАЗАНОВ¹, С. БРЕЗИНСЕК¹

¹Научно-исследовательский центр Юлиха, Германия

Известно, что в качестве основного материала для дивертора токамака ITER был выбран вольфрам. Этот элемент хорош тем, что обладает небольшим коэффициентом распыления в условиях, соответствующих условиям пристеночной плазмы в токамаках, достаточно высокой температурой плавления и малым накоплением трития [1]. Для изучения процессов взаимодействия плазмы с вольфрамом используются небольшие и сравнительно простые по своей конструкции установки – открытые плазменные ловушки (такие, как PISCES-B [2] и PSI-2 [3]). Трехмерный код ERO [4] является одним из признанных инструментов для моделирования транспорта примесей в плазме в токамаке ITER.

Ряд экспериментов по распылению вольфрама был проведен на установке PSI-2 и в дальнейшем смоделирован к коду ERO. В этих экспериментах вольфрамовая мишень 100x80 мм² облучалась аргоновой плазмой с различными параметрами (n_e , T_e). Энергии ионов аргона, бомбардирующих мишень, варьировались от 40 до 150 эВ. При помощи спектрометра были сняты зависимости интенсивности излучения нейтрального вольфрама WI от расстояния до поверхности мишени вдоль оси установки (ось z) и перпендикулярно ей (при различных значениях z). Кроме того, для анализа угловых распределений распыленных частиц, на некотором расстоянии от мишени (20-545 мм по оси z , 150 мм в радиальном направлении) располагался QMB сенсор, регистрировавший все попадающие на него частицы. Все экспериментальные зависимости интенсивности излучения WI имеют максимум на расстоянии порядка 5 мм от поверхности. Данный эффект может быть объяснен наличием у W долгоживущих, «метастабильных», возбужденных энергетических уровней, переходы между которыми могут осуществляться до излучения детектируемой длины волны.

Положение максимума можно оценить исходя из простой двухуровневой модели, используя уравнения для динамики заселенности энергетических уровней.

Учет в коде ERO присутствия метастабильных уровней позволил получить хорошее согласие с экспериментом при значении эффективного коэффициента излучения $A_{\text{eff}} \approx 7 \cdot 10^5$ 1/с.

Таким образом, было показано, что существенное влияние на форму кривой зависимости интенсивности излучения WI от расстояния до поверхности мишени оказывает наличие долгоживущих возбужденных («метастабильных») энергетических состояний W: их присутствие обеспечивает наличие максимума на расстоянии порядка 5 мм от поверхности мишени и характерное время их жизни $t \approx 1.4 \cdot 10^{-4}$ с.

Список литературы:

- [1] V. Philipps. JNM. V. 415, Is. 1, S2–S9 (2011)
- [2] R.P. Doerner, M. J. Baldwin, K. Schmid, Phys. Scr. T111 (2004) 75
- [3] M. Reinhart et al., Transactions Fusion Sci. Technol. 63 (2013) 201.
- [4] A. Kirschner, et al. (2000) Nucl. Fusion, 40, 989.
- [5] E. Marenkov et al., JNM, 463 (2015) 268

2. ФИЗИКА РАЗРЯДОВ И ПУЧКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОГО АНОМАЛЬНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА В N_2 , Ar, H_2 И ИХ СМЕСЯХ

Ю.В. БОРИСЮК, Н.М. ОРЕШНИКОВА, Д.В. МОЗГРИН, Т.В. СТЕПАНОВА,
А.А. ПИСАРЕВ

В работе исследованы режимы импульсно-периодического аномального тлеющего разряда, коорый применяется для плазменного азотирования изделий из сталей и титановых сплавов. Эксперименты проводились на установке АТР, созданной на кафедре физики плазмы НИЯУ МИФИ. В качестве катода использовался стержень из титанового сплава ВТ-6 диаметром 10 мм и длиной 100 мм на оси цилиндрического анода диаметром 180 мм и высотой 420 мм. На катод подавалось импульсно-периодическое напряжение с амплитудой 400-650 В, частотой 3-5 кГц и коэффициентом заполнения 30-80%. Напряжение и ток разряда измерялись четырехканальным цифровым осциллографом Tektronix TPC 2024В с помощью делителя напряжения и шунта. Для определения элементного и ионного состава плазмы использовался 3-х канальный спектрометр AvaSpec-ULS2048L-USB2-RM в диапазоне длин волн от 200 до 810 нм. Для измерения температуры электронов и плотности плазмы на расстоянии 3-5 мм от катода размещался одиночный цилиндрический зонд Ленгмюра из W проволоки диаметром 0,5 мм и длиной рабочей части 4 мм. На зонд подавалось линейно убывающее напряжение развертки амплитудой 36 В и длительностью 45 мкс. ВАХ разряда исследовались при давлении 1 Торр и 1,5 Торр. В качестве рабочего газа использовались Ar; N_2 ; H_2 ; Ar+ N_2 (1:1) и N_2 + H_2 (1:1). Полученные ВАХ разряда (рис. 1) показали рост напряжения разряда в диапазоне 350-650 В с увеличением тока от 20 до 400 мА. Согласно [1] подобные ВАХ указывают на то, что в данной конфигурации разрядного устройства, диапазоне давлений и составе газовой смеси реализуется режим аномального тлеющего разряда. Проведенные зондовые измерения показали, что температура электронов равна 2 – 6 эВ, концентрация плазмы $\sim 10^{10} \text{ см}^{-3}$. На рис.2 представлен оптический спектр излучения АТР в смеси Ar+ N_2 (1:1). Сравнение экспериментальных спектров с эталонными спектрами рабочих газов и возможных примесей показали присутствие линий Ar^+ , Ar, Ti, N_2^+ , N, N^+ , Fe, H и OH. Наличие в плазме атомов и ионов азота создаёт благоприятные условия для плазменного азотирования металлов.

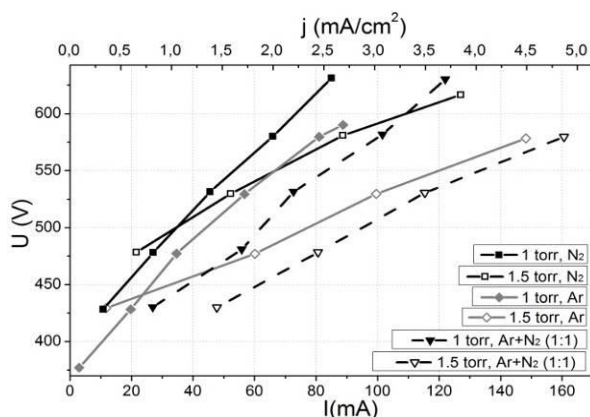


Рис.1. ВАХ разряда. Частота импульсов 3 кГц; коэффициент заполнения 30%

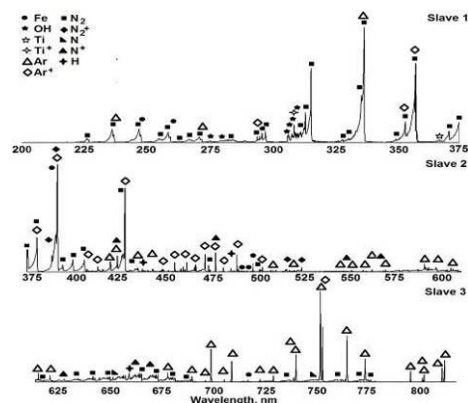


Рис.2. Спектр излучения АТР в смеси Ar+ N_2

Список литературы:

[1] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука, 1987. – 355-414 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА В ПР-2

К.М. ГУТОРОВ, И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ

После проведения модернизации установки ПР-2, включающей установку нового блока питания электронной пушки (напряжение до 10 кВ, ток до 1,2 А) и диафрагмы дифференциальной откачки пушки (перепад давлений до 1000) возникла необходимость определения режимов горения разряда в новой конфигурации.

Приведены результаты измерений одиночным ленгмюровским зондом температуры и концентрации водородной плазмы пучково-плазменного разряда (ППР) в зависимости от давления рабочего газа и мощности электронного пучка. Диапазон изменения параметров: 10^{-4} – $1,6 \cdot 10^{-2}$ мбар для давления и 200 – 1000 Вт для мощности пучка. Измерения параметров плазмы проводились одиночным зондом в области рядом с краем электронного пучка, чтобы избежать его расплавления. Результаты представлены на рис.1 и рис.2. Наблюдается максимум для концентрации при давлении водорода порядка 10^{-3} мбар и максимум для температуры при мощности пучка 400 Вт.

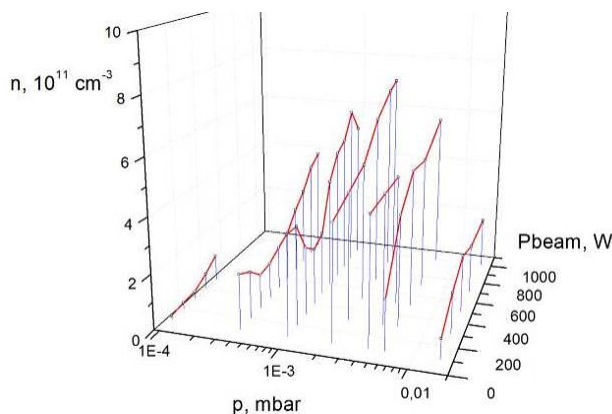


Рис.1. Зависимость концентрации плазмы от давления и мощности пучка

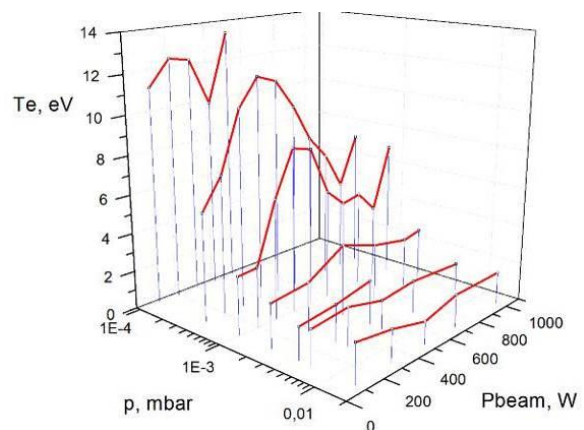


Рис.2. Зависимость температуры плазмы от давления и мощности пучка

Максимум концентрации плазмы соответствует длине пробега электронов порядка длины шнура плазмы. При давлении выше $2 \cdot 10^{-3}$ мбар плазма концентрируется в шнуре (происходит переход в режим ППР), а концентрация в области расположения зонда снижается. Область максимума температуры соответствует минимуму концентрации (рис.3). Максимум температуры и минимум концентрации соответствует диффузному режиму ППР, в котором развивается пучково-дрейфовая неустойчивость, приводящая к повышенному радиальному уходу частиц.

Определены области существования диффузного режима ППР (мощность пучка 200 – 600 Вт, давление до $2 \cdot 10^{-3}$ мбар) и условия перехода в режим ППР (мощность пучка выше 600 Вт или давление выше $2 \cdot 10^{-3}$ мбар).

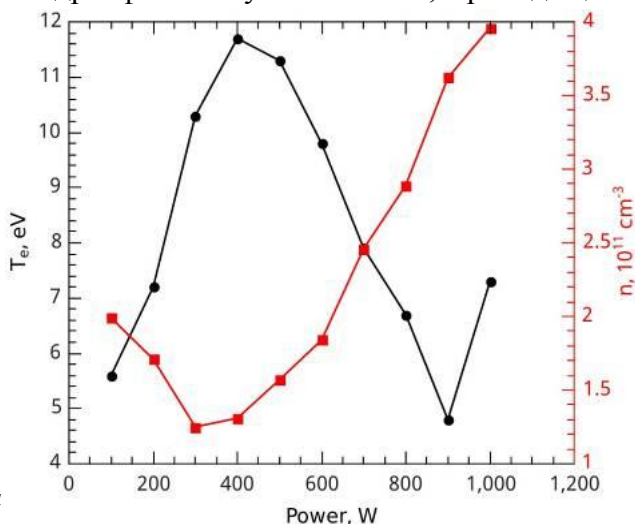


Рис.3. Зависимости концентрации и температуры плазмы от мощности пучка при давлении $4 \cdot 10^{-4}$ мбар, участок от 200 до 600 Вт соответствует диффузному режиму ППР

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ И ЗАРЯДКИ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННОМ РАЗРЯДЕ

О.А. КОВАЛЬ, И.В. ВИЗГАЛОВ

В рамках проведенной работы была создана численная модель динамики пылевых частиц микронного размера в ППР. В программе можно получать траектории частиц для различных конфигураций ППР (рис. 1). Проведён траекторный анализ с целью определения условий захвата пыли в плазменный шнур в зависимости от размеров частиц, начальных координат и потенциала поверхности относительно плазмы.

Для проведения экспериментов на базе ПР-2 разработан и изготовлен инжектор мелкодисперсных частиц на основе пьезоэлектрического вибрирующего элемента. Для записи траекторий частиц использованы быстрая камера с возможностью съёмки 1200 кадров в секунду и полупроводниковый лазер для дополнительной подсветки частиц. Получены треки частиц и посчитаны продольные компоненты скорости. Характерные средние значения для частиц, двигающихся по спирали - 2 м/с, для выпадающих из шнура, получивших импульс в направлении коллектора - 5.5 м/с, для захваченных в приосевую область разряда 17 м/с.

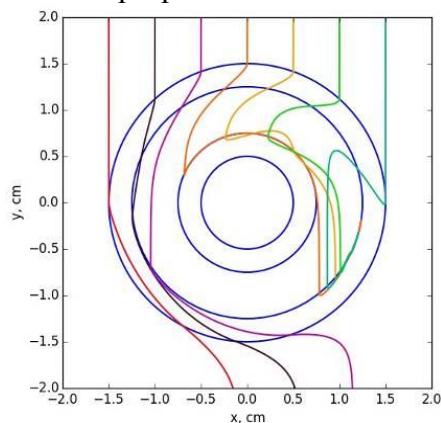


Рис. 1. Траектории графитовых частиц радиусом 5 мкм, инжектируемых в ППР трубчатой структуры.

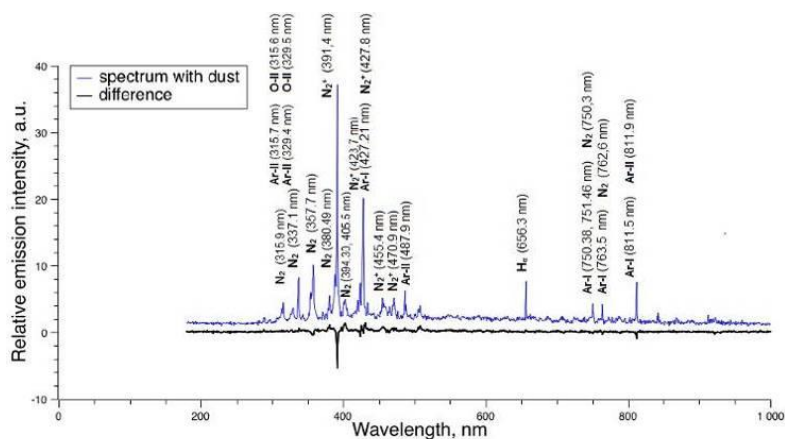


Рис. 2. Спектр излучения плазмы во время инжекции пыли и спектр, полученный вычитанием спектра излучения плазмы без пыли при одних параметрах ППР

Также исследовалось влияние пылевых частиц на изменение спектра излучения N_2 -Ar плазмы (рис. 2). Если плотность пылевых частиц мала, и они не перегреваются, то на спектре в пределах чувствительности не обнаруживаются ни тепловое излучение пылинок, ни новые линии, ни изменения в интенсивности излучения нейтрального компонента газа. При этом на 10% уменьшается интенсивность полосы 391.4 нм из первой отрицательной системы спектра молекулярного иона азота $N_2^+ B^2\Sigma_u^+ - X^2\Sigma_g^+ (0,0)$. На основе этого эффекта предложена методика, позволяющая оценить потенциал поверхности пылевой частицы. Так, из анализа экспериментальных данных получено значение 500 В - это оценка снизу значения потенциала поверхности частицы радиусом 5 мкм. Это значение превосходит более чем на порядок характерное значение плавающего потенциала пылевых частиц в тлеющем разряде.

Проанализирована возможность получения высокого потенциала пылевых частиц в ППР для проведения ионной имплантации. Для реализации импульсной высоковольтной зарядки частиц (более 1 кВ) вспомогательным электронным пучком предложено использовать режим ППР с генерацией высоковольтных автоколебаний в цепи коллекторной пластины. Сформулированы предложения по модификации установки ПР-2, позволяющие удовлетворить принципам магнитной и баллистической компрессии вспомогательного электронного пучка и условий его временного группирования.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЫ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИНДУКЦИОННОГО РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Е.А. МЕЩЕРЯКОВА, А.В. КАЗИЕВ, М.С. ЗИБРОВ, М.М. ХАРЬКОВ,
Т.В. СТЕПАНОВА, А.А. ПИСАРЕВ

В ходе работы проводились измерения параметров плазмы высокочастотного индукционного (ВЧИ) разряда в среде аргона во внешнем постоянном продольном магнитном поле методами зондов Ленгмюра и оптической эмиссионной спектроскопии. Получены пространственные распределения плотности плазмы и эмиссионные спектры для диапазона давлений $5 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-2}$ мбар и индукции магнитного поля на оси камеры в диапазоне 0–80 Гс (это соответствует силе тока в катушках, создающих магнитное поле 0–18 А).

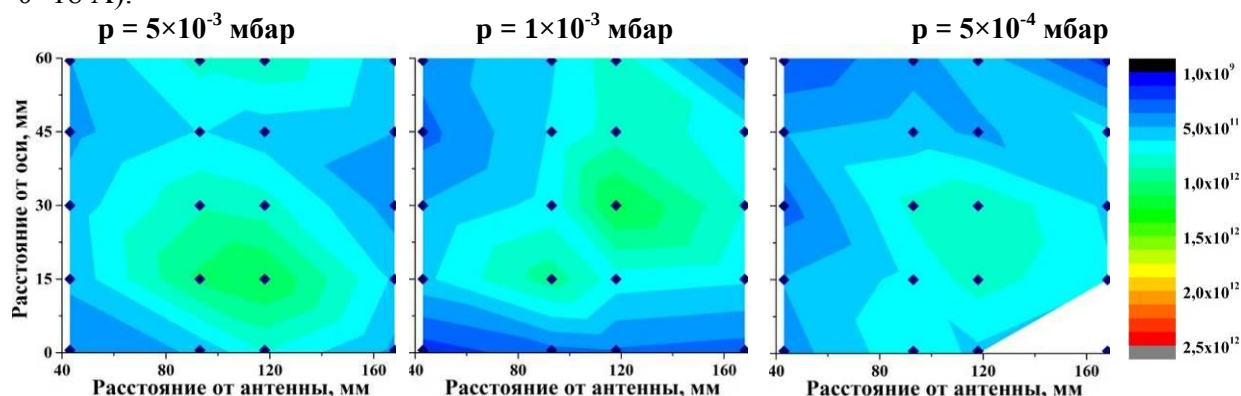


Рис. 1 Пространственные распределения плотности плазмы ВЧИ разряда в среде аргона при силе тока в катушках 5 А и давлениях в диапазоне $5 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-4}$ мбар

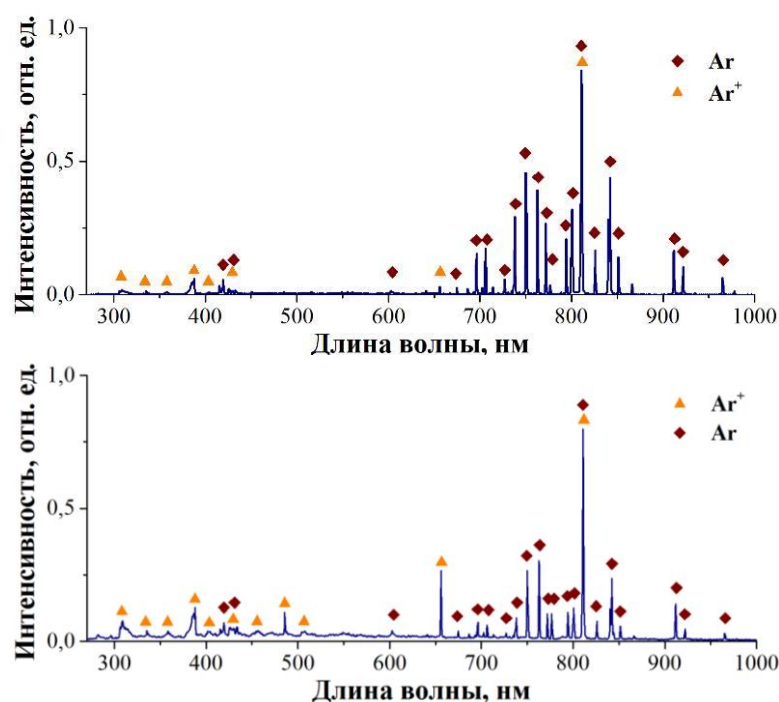


Рис. 2 Спектры излучения плазмы ВЧИ разряда в среде аргона при давлениях 1×10^{-2} мбар (сверху) и 1×10^{-3} мбар (снизу) и силе тока в катушках 5 А

Плотность плазмы монотонно возрастает с увеличением индукции магнитного поля при давлении 1×10^{-2} мбар, в то время как при более низких давлениях максимум плотности соответствует силе тока в катушках 5 А. В диапазоне давлений $5 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-4}$ мбар плотность плазмы практически не меняется (Рис. 1), а относительная интенсивность линий ионизованного аргона возрастает с уменьшением давления рабочего газа (Рис. 2).

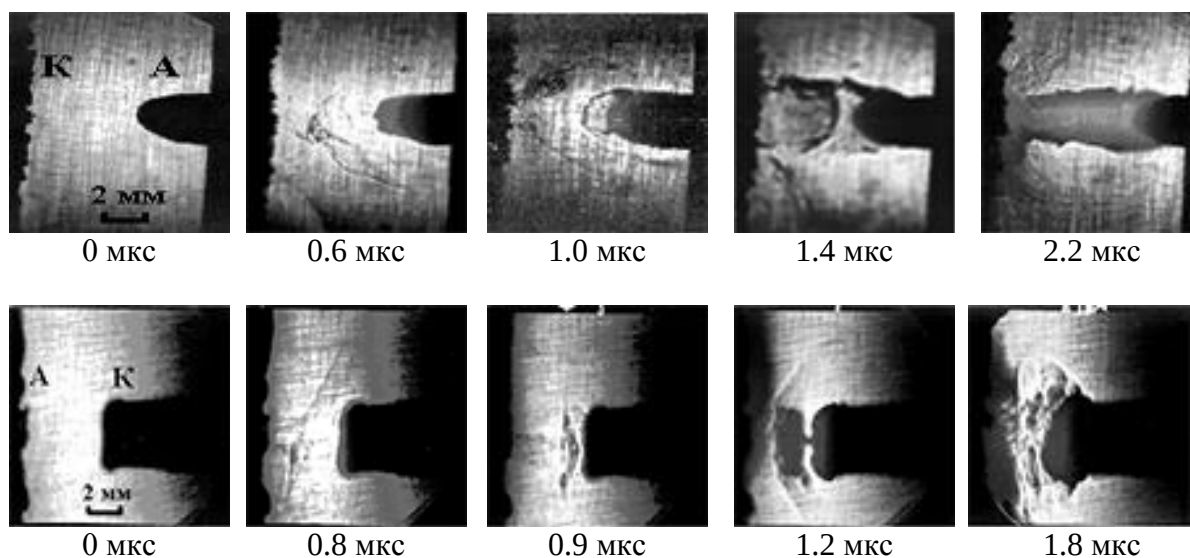
Постоянство плотности плазмы и увеличение интенсивности линий ионизованного аргона при понижении давления указывает на увеличение степени ионизации плазмы.

ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАЗМЫ В РАЗРЯДНОМ ПРОМЕЖУТКЕ МИКРОПИНЧЕВОГО РАЗРЯДА ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ПОЛЯРНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОДАХ

О.А. БАШУТИН, Е.Д. ВОВЧЕНКО, А.С. САВЕЛОВ, П.П. СИДОРОВ

Основным рабочим веществом в разрядах сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры являются продукты эрозии электродов, поступающие в межэлектродный промежуток в результате воздействия на их поверхность потоков частиц и излучения. Поэтому процессы, происходящие в приэлектродных областях разряда на начальном этапе его развития, могут оказывать существенное влияние на дальнейшее развитие разряда и его излучательные характеристики. В предыдущих исследованиях было установлено существенное влияние полярности прикладываемого напряжения на относительное содержание материала электродов в излучающей в рентгеновском диапазоне плазме, что свидетельствует о различном механизме поступления продуктов эрозии электродов в разрядный промежуток.

Наглядная информация о характере и динамике поступления материала электродов в разрядный промежуток может быть получена при визуализации процессов, происходящих в разрядном промежутке в различные моменты времени. В данной работе представлены результаты теневого фотографирования процессов развития вакуумного искрового разряда при различной полярности приложенного к электродам напряжения.



Полученные тенеграммы показывают, что в обоих случаях на начальной стадии развития разряда определяющую роль в заполнении плазмой разрядного промежутка играют продукты эрозии анода. Поступление в разрядный промежуток продуктов эрозии катода зависит от его геометрии. При использовании плоского цилиндрического катода большого диаметра заметное поступление вещества катода в разрядный промежуток происходит лишь после бомбардировки поверхности катода ионами анодной плазмы. В то же время, для острейного катода появление вещества катода в разрядном промежутке происходит практически одновременно с появлением в разрядном промежутке паров анода. Возможной причиной такого различия является величина электрического поля вблизи поверхности катода, определяющая плотность тока автоэлектронной эмиссии, которая приводит к его разогреву.

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАПИЛЛЯРНОГО РАЗРЯДА С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ФОЛЬГАМИ

Д.Л. КИРКО, А.С. САВЕЛОВ, И.Д. ЕГОРОВ

При взаимодействии эрозионных разрядов с неорганическими и органическими материалами происходит возникновение плазменных областей, имеющих время существования до 1 с. В настоящей работе изучались эффекты, сопровождающие взаимодействие капиллярного разряда с различными металлическими фольгами. Капиллярный разряд создавался с помощью разрядника с диэлектриком из оргстекла, блок питания имел конденсаторную батарею (зарядное напряжение 200-250 В, энергия батареи 100-250 Дж). При работе ток разряда составлял 100-150 А, длительность импульса 6-10 мс. Для проведения исследования использовались металлические фольги из алюминия, тантала, меди и латуни. Взаимодействие факела капиллярного разряда с фольгой приводило к интенсивному термическому воздействию и испарению небольшой массы фольги ($m=0,5-3,0$ мг). В области взаимодействия факела и фольги происходило образование плазменных объектов (ПО) и их последующее движение. ПО обычно имели форму близкую к сферической с размерами 0,1-3 мм, и существовали в течение 10-500 мс. Регистрация свечения ПО осуществлялась с помощью камеры Nikon 1 J1 с временным разрешением 0,8-1,2 мс. На фотографии (рис. 1) при взаимодействии капиллярного разряда с танталовой фольгой показан момент возникновения трех окруженных ореолами ПО с размерами около 3 мм, а также видно присутствие ПО с размерами 0,2-1 мм. В области взаимодействия факела и фольги и в районе движения ПО создавалось постоянное магнитное поле величиной 100-800 Гс. Траектории движения ПО в магнитном поле показали отсутствие в веществе ПО объемного электрического заряда (положительного или отрицательного).



Рис.1. Фотография плазменных областей
(временное разрешение 1 мс)

В области взаимодействия разряда с алюминиевой и танталовой фольгами измерен спектральный состав излучения разряда. Для определения температуры были использованы линии атомарного водорода серии Бальмера H_α и H_β . Полученные в опытах с танталовой фольгой значения температуры плазмы находятся в диапазоне $T=1100-2300$ К. Оценка с помощью штарковского уширения данных водородных линий (H_α и H_β) концентрация плазмы в районе взаимодействия составила $n_e=(2,4\pm0,2)\cdot10^{16}$ см⁻³. В результате проведенных экспериментов можно сделать предположение о существовании устойчивой, хорошо сформированной внутренней структуры плазменных объектов областей.

3. ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЫ И ПОВЕРХНОСТИ

РЕНТГЕНОВСКАЯ ДИАГНОСТИКА АНОМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ В ВЧ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ ПУЧКОВО- ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА

И.В. ВИЗГАЛОВ, И.Л. МАНОХИН

В работе методами рентгеновской диагностики исследуется спектр высокоэнергетической группы электронов в автоколебательном режиме пучково-плазменного разряда (ППР).

В основе механизма высокочастотного автоколебательного режима ППР лежит вторично-эмиссионная неустойчивость дебаевского слоя отрицательно смещенной коллекторной пластины. При развитии автоколебаний в цепи коллекторной пластины амплитудные значения её эмиссионного тока и напряжения могут значительно превышать ток и ускоряющее напряжение электронной пушки, кардинально изменяя энергетический спектр высокоэнергетичной группы электронов в плазменном шнуре. В предыдущих работах по измерению спектров рентгеновского излучения, вызываемого высокоэнергетичными вторично-эмиссионными электронами, была использована сборка с термолюминесцентными детекторами (ТЛД) [1]. Она показала многократное усиление средней мощности рентгеновского излучения в высокоэнергетической части спектра при развитии автоколебаний.

Для исследования временной корреляции рентгеновского излучения с фазой переменного коллекторного потенциала разработан детектор на основе вакуумного рентгеновского диода [2]. Снижение чувствительности из-за сравнительно низкого квантового выхода фотокатода (порядка 10^{-5} электрон/квант для диапазона 2-10 кэВ) увеличенной площадью (150 см^2). Детектор накрывается сменными фильтрами из алюминиевой фольги толщиной от 8 до 20 мкм. Произведена калибровка детектора на установке ПР-2 в вакуумном режиме стационарной рентгеновской трубки с ускоряющим напряжением от 2 до 10 кВ. Интенсивность тормозного излучения, попадающего на детектор прямо пропорциональна разрядному току, порядковому номеру материала мишени и квадрату ускоряющего напряжения. Для пространственного разделения прямого и обратного потоков надтепловой группы электронов используется слабо искривленный участок продольного магнитного поля в коллекторной секции ППР. Поляризация плазменного шнура в результате центробежного дрейфа приводит к заметному смещению эмитируемого (отраженного) коллекторной пластиной электронного потока по радиусу кривизны. Получены осциллограммы сигналов рентгеновских диодов, обращенных к коллекторной пластине и смещенной мишени, для различных режимов возбуждения вторично-эмиссионной неустойчивости при варьировании давления рабочего газа, материала коллекторной пластины, тока, напряжения и частоты автоколебаний.

Список литературы:

- [1]. А.В. Баловнев, И.В. Визгалов, Г.Х. Салахутдинов. Диагностика аномальной электрон-электронной эмиссии в автоколебательном режиме пучково-плазменного разряда при помощи метода фильтров и термолюминесцентных детекторов. Прикладная физика, 2015, № 1, стр. 40.
- [2]. А.Н. Зайдель, Е.Я. Шрейдер. Вакуумная спектроскопия и ее применения. М: изд. "Наука" 1976, стр. 187.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННОГО СОСТАВА ПЛАЗМЫ БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ НА УСТАНОВКЕ PSI-2

И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ, К. БРАНДТ*, А. КРЕТЕР*,

*Научно-исследовательский центр Юлиха, Германия

В работе с помощью встраиваемого магнитного анализатора, разработанного в НИЯУ МИФИ [1, 2] исследовался ионный состав плазмы благородных газов в различных режимах горения разряда на установке PSI-2 [3, 4]. Модифицированный масс-спектрометр замагниченной плазмы (MSMP-03) был установлен на линейную плазменную установку PSI-2 для экспериментов по исследованию взаимодействия плазмы с поверхностью. MSMP-03 был адаптирован для in-situ измерений масс-спектра в мощных режимах разряда и оснащен улучшенной измерительной системой, состоящей из двух коллекторов, позволяющей уменьшить как сигнал вторичной электронной эмиссии в области высоковольтной развертки, так и влияние углового разброса распределения ионов.

Измерения ионного масс-спектра благородных газов (He, Ne and Ar) были проведены в одном положении MSMP-03 (4 см от центра плазменного шнура) для различных значений мощности разряда (параметров плазмы) при фиксированной величине газового потока. Экспериментальные результаты (рис.1) показывают, что увеличение мощности разряда и электронной температуры приводит к перераспределению плазменных компонентов в сторону образования многозарядных ионов в соответствии с равновесным состоянием плазмохимических процессов. Эффект более выражен для Ar по сравнению с Ne и He, из-за более низкого второго потенциала ионизации 27.6 эВ по сравнению с 41.0 эВ и 54.4 эВ, для Ne и He соответственно. Отсутствие в спектрах трижды ионизованных ионов обусловлено высоким уровнем шума в более мощных режимах.

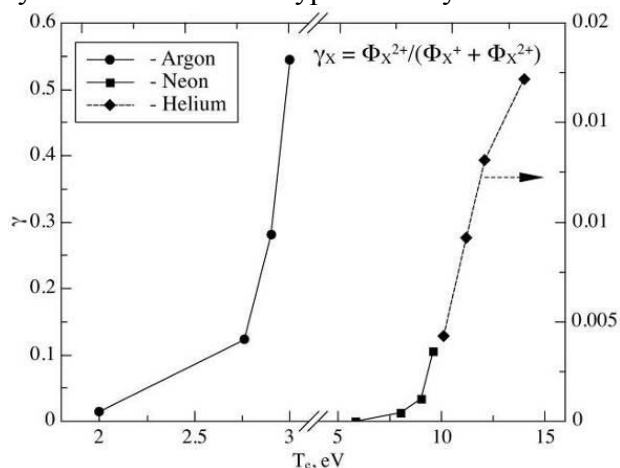


Рис. 1. Зависимость величины относительного ионного потока дважды ионизованных компонентов для различных параметров разряда при фиксированной величине потока рабочего газа

Наличие многозарядных ионов является критичным для исследования взаимодействия плазмы с поверхностью из-за более высокой энергии падающих ионов. Данные, получаемые с помощью MSMP-03, помогут лучшей интерпретации и пониманию процессов взаимодействия плазмы с поверхностью на PSI-2.

Список литературы:

- [1] I.V. Vizgalov et al., Instrum. Exp. Techniques, 42, 718-721 (1999)
- [2] O. Waldmann et al., 34th EPS Conf. On Plasma Phys. Warsaw, 31F, 5.108 (2007)
- [3] A. Kreter, Fusion Sci. Technol., 59, 51 (2011)
- [4] A. Kreter et al., Fusion Sci. Technol., 68, 8-14 (2015)

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОДОВ НА СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗРЯДА ТИПА СИЛЬНОТОЧНАЯ НИЗКОИНДУКТИВНАЯ ВАКУУМНАЯ ИСКРА

ДОДУЛАД Э.И., КОСТЮШИН В.А., РАЕВСКИЙ И.Ф., САРАНЦЕВ С.А.

Проведены исследования влияния материала электродов на спектр рентгеновского излучения сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры (СНВИ). Исследования проводились на установке «ПИОН».

Были получены спектры рентгеновского излучения разряда для пяти различных конфигураций электродной системы установки: с катодом из железа (Ст.45), вольфрама, молибдена, меди и свинца. В качестве материала анода использовалось железо (Ст.45). Установлено, что наибольшая интенсивность излучения наблюдается для свинца. Для случая катода из железа, вольфрама и молибдена спектр излучения не зависит от материала катода. Для случая медного катода спектр излучения лежит в более низкой по сравнению с другими случаями энергетической области, а интенсивность излучения существенно ниже остальных случаев (см. рис.1).

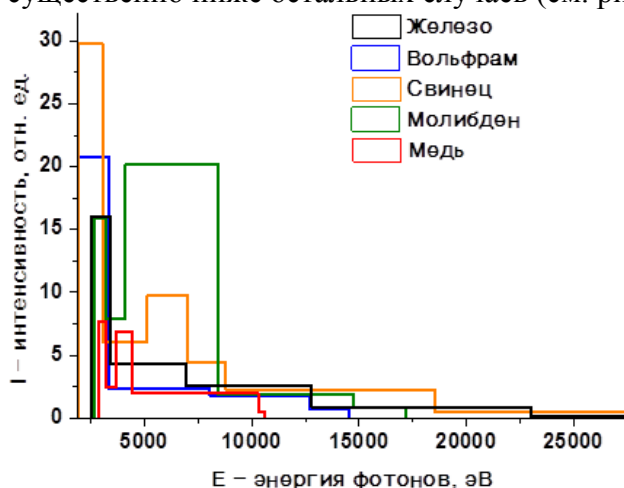


Рис.1. Спектры излучения разряда при различных материалах катода

Параллельно после каждой серии экспериментов проводилось взвешивание электродов. Установлено, что сильнее всего электроды распыляются в конфигурации со свинцовым катодом, а слабее всего с медным. Для конфигураций с железным, молибденовым и вольфрамовым катодом существенных различий в распылении электродов замечено не было.

На основании полученных данных можно сделать несколько выводов:

- Наибольшая интенсивность рентгеновского излучения наблюдалась для электродной системы с катодом из свинца. Это может быть связано с тем, что из всех использованных материалов свинец имеет наибольшее значение Z , наименьшую температуру плавления, удельную теплоту плавления и испарения. На основании этого можно предположить, что большая часть энергии, приходящаяся на катод, тратится на ускорение вещества, вылетающего с катода. В этом случае вследствие большей скорости, катодное вещество может достигнуть прианодной области, где формируется микропинч и внести вклад в его образование.
- Спектры рентгеновского излучения для катодов из вольфрама, молибдена и железа в пределах погрешности имеют одинаковую интенсивность. Это подтверждает предположение о том, что основным источником рентгеновского излучения в разряде являются «горячие точки» вблизи анода. В силу этого, материал катода не должен существенно влиять на характер рентгеновского излучения.
- Низкой интенсивности рентгеновского излучения с медным катодом соответствует малое изменение массы анода. Из предположения, что микропинч формируется за счет паров вещества с анода, следует, что уменьшение количества данного вещества в области формирования «горячих точек» приводит к ослаблению интенсивности излучения. Однако до конца неясно, привело ли к этому результату использование катода из меди, либо влияние на начальные параметры неучтенных внешних эффектов.

ПАРАМЕТРЫ СВЕРХЗВУКОВЫХ ПЛАЗМЕННЫХ СТРУЙ, КОЛЛИМИРОВАННЫХ ПОЛОИДАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ, ИЗМЕРЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ РЕНТГЕНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Е.Д. ФИЛИПPOB, С.А. ПИКУЗ, И.Ю. СКОБЕЛЕВ, ДЖ. ФУКС*, Г.РЕВЕ*

*Эколь Политекник, Париж (Франция)

К одному из явлений, которые исследуются с помощью лабораторной плазмы, относится плазменная струя, или джет. В экспериментальной кампании на установке ELFIE энергия лазера для исследования астрофизической плазмы составляла порядка 20-30 Дж с временем импульса около 1 нс. Длина волны – 1,054 мкм. Пятно фокусировки 300 мкм. Луч основного лазерного пучка расщеплялся на два для исследования взаимодействия двух одновременных джетов, распространяющихся друг навстречу другу. В качестве мишени выступала CF_2 (тефлон) мишень. В качестве диагностик были использованы: спектрометрия (FSSR), интерферометрия при различных задержках, фарадеевское вращение, а также спектрограф Томсона. Магнитное поле ~ 20 Тл. Рабочее давление в камере составляло $10^{-2} - 10^{-3}$ мбар.

Эксперименты показали, что наличие магнитного поля в таких экспериментах играет существенную роль. На рис. 1 показано отличие профиля температуры и плотности в пространстве в присутствии и без магнитного поля. Анализ проводился по взаимным отношениям интенсивностей линий гелиевой серии фтора. Так как джет имеет большое аспектное соотношение, для описания параметров струи были использованы три разных кадра, каждый из которых представляет собой свою исследуемую часть струи, что создавалось перемещением мишени вглубь катушки.

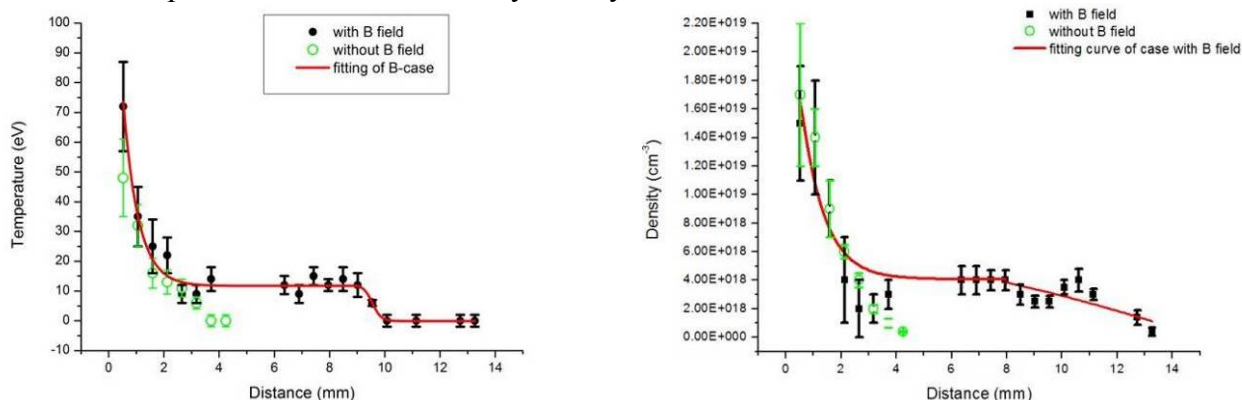


Рис.1 Профили температуры (слева) и плотности (справа) плазменной струи для случаев с магнитным полем и без него

Кроме того, показано, что электронная плотность уменьшается монотонно вдоль оси джета в случае без магнитного поля, но демонстрирует более широкий профиль плотности, когда магнитное поле включено. Полученные данные находятся в соответствии с данными интерферометрии, таким образом, подтверждая уверенность в существующем методе рентгеновской спектрометрии. В то время как электронная температура на поверхности мишени под действием лазерного излучения достигает 300-320 эВ, на расстоянии 3 мм она снижается до ~ 20 эВ. Показано, что T_e и n_e практически сохраняют постоянные значения на протяжении многих мм вдоль джета вследствие влияния магнитного поля, обеспечивающего коллимацию струи. Другая особенность в случае поля в 20 Тл – это уменьшение температуры на расстоянии 2.5-3мм, что находится в соответствии с тем, что в этой области создается полость более низкоплотной и холодной плазмы.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СВЕРХЪЯРКОГО ИСТОЧНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ В ПЛОТНОЙ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЕ

М.А. АЛХИМОВА, С.А. ПИКУЗ, А.С. САВЕЛОВ

Проведен первый этап анализа спектров сверхъяркого источника рентгеновского излучения (РИ) ($I_{x-ray} \sim 10^{19}$ Вт/см²), генерируемого в режиме доминирования радиационных процессов в плотной релятивистской плазме, формируемой при облучении тонких Al фольг лазерным импульсом петаваттной мощности.

Ранее проведенный анализ показал [1], что сверхъяркий источник РИ первоначально формируется в плотной горячей бесстолкновительной плазме, создаваемой в фокальном пятне лазерного пучка, и затем в результате переноса энергии быстрыми электронами (с энергиями ~ 4 МэВ), генерируемыми в горячей области плазмы, и теплового транспорта в твердотельной мишени, в периферийной плазменной зоне происходит генерация вторичного мягкого РИ, с энергиями ~ 10 кэВ, в результате которого идет образование КК и KL - полых ионов, т.е. атомов с двумя вакансиями на К и L оболочках [2-4]. В периферийной плазме наблюдается нелинейный рост мощности РИ (в зависимости от температуры периферийной плазмы) и показано, что предел конвертации энергии лазерного излучения в энергию рентгеновского излучения пока не достигнут [5].

В течении 2015 года проводилась обработка результатов спектральной диагностики рентгеновского излучения, полученных при проведении экспериментальных исследований на лазерном комплексе петаватт класса - Vulcan PW (Лаборатория Резерфорда, Великобритания, ноябрь 2014). Лазерный луч с интенсивностью $P_{laser} \sim 3 \cdot 10^{21}$ Вт/см² и длительностью $\tau = 0.7$ пс фокусировался на поверхности мишени под углом 45° в фокальное пятно $d = 5$ мкм, в котором было сосредоточено около 35% всей энергии. В качестве мишеней использовали алюминиевые и кремниевые фольги, толщиной $h = 1 \div 2$ мкм. Для диагностики спектрального состава РИ и наблюдения спектров с фронтальной и тыльной поверхностей мишени на разном расстоянии от источника РИ применялась система из пяти спектрографов с диспергирующим элементом на основе кристаллов (слюда и альфа-кварц) с высоким пространственным разрешением, расположенных попарно симметрично. В качестве детектирующих элементов применялись IP- пластины и Andor CCD камера.

В результате анализа спектров было показано, что эффективная схема регистрации РИ позволяет получить полные спектры излучения плазмы с передней и задней поверхностей мишени в широком спектральном диапазоне длин волн: от 4 до 9 Å, содержащем резонансные и рекомбинационные линии Н и He-подобных ионов и нейтральную Kα. В настоящее время ведется теоретическая обработка экспериментальных данных.

Список литературы

- [1]. M. Nishiuch et al.: 22, 033107 (2015).
- [2]. J. Colgan et al., PRL 110, 125001 (2013).
- [3]. S.A. Pikuz et al., HEDP 9, 560 (2013).
- [4]. S.B. Hansen et al., Phys. Plasma 21, 031213(2014).
- [5]. A. Ya. Faenov et al., Scientific reports, Nature, i: 10.1038/srep13436 (2015).

4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ И ЕЁ КОМПОНЕНТОВ С ВЕЩЕСТВОМ

РАДИАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ВОЛЬФРАМА И МАЛО-АКТИВИРУЕМЫХ СТАЛЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЗАХВАТ ДЕЙТЕРИЯ

О.В. ОГОРОДНИКОВА, В.В. ГАНН*, Ю.М. ГАСПАРЯН

*Национальный центр “Харьковский институт физики и технологии”, Украина

Радиационные дефекты, созданные облучением материалов собственными ионами и электронами при различных температурах, изучались с помощью сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и позитронной спектроскопии, а также путем декорации дейтерием из газа и низко-энергетической плазмы. Впервые установлено, что насыщение дейтерия в радиационно-индуцированных повреждениях наступает при ~ 0.25 сна в сталях и ~ 0.5 сна в вольфраме, что согласуется с насыщением плотности радиационно-индуцируемых дефектов, наблюдаемых посредством ПЭМ, в сталях и вольфраме. Путем сравнения профилей концентрации D в нейтронно- и ионно-облученном вольфраме впервые получено, что облученный быстрыми нейтронами вольфрам удерживает $\sim 65\%$ дейтерия по сравнению с вольфрамом, облученным собственными ионами. Это значит, что собственные ионы могут служить для моделирования создаваемых нейтронами радиационных повреждений с точностью до $\sim 65\%$. Предполагая, что все каскады с энергией выше, чем 150 кэВ разделены на идентичные подгруппы каскадов, было получено значение 0.64 для коэффициента подобия между нейтронами и 20 МэВ-ными ионами W^{6+} , близкое к полученному экспериментально. Это означает, что высокоэнергетические первичные атомы отдачи (РКА) могут играть важную роль в производстве аналогичных повреждений структуры при облучении собственными ионами и нейтронами. Впервые показано, что отжиг радиационных дефектов до температуры 1100 К незначительно влияет на удержание дейтерия в вольфраме, но значительно уменьшает накопление дейтерия в сталях уже при температурах выше 450 К. Разработана модель, позволяющая рассчитывать миграцию и накопление водорода в металлах с учетом создаваемых радиационных дефектов и объяснены особенности значительного увеличения накопления дейтерия в вольфраме от ионного потока при высоких температурах, наблюдающиеся экспериментально.

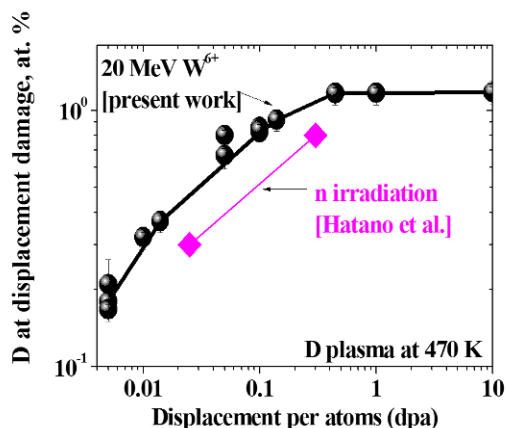


Рис.2. Сравнение накопления дейтерия в вольфраме, облученном собственными ионами и нейтронами.

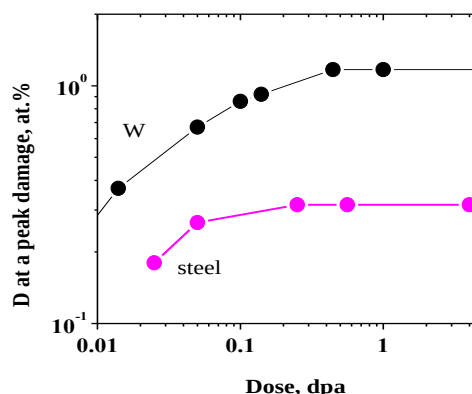


Рис.1. Насыщение дейтерия в радиационно-индуцированных повреждениях наступает при ~ 0.25 сна в сталях и ~ 0.5 сна в вольфраме.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ЦИРКОНИЯ ИОНАМИ АРГОНОВОЙ ПЛАЗМЫ НА ЗАХВАТ ДЕЙТЕРИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ АТОМАМИ С ТЕПЛОВЫМИ ЭНЕРГИЯМИ

А.Е. ЕВСИН, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, И.Р. ВАХИТОВ*, А.И. ГУМАРОВ*,
Н.Ф. КАШАПОВ*, А.Г. ЛУЧКИН*, Л.Р. ТАГИРОВ*, Н.В. ЯНИЛКИН*

* Казанский (Приволжский) федеральный университет

Накопление водорода в циркониевых компонентах активной зоны легководного реактора, которое происходит в результате коррозии, а также воздействия продуктов радиолиза воды (атомов и ионов водорода, ОН-радикалов), приводит к водородному охрупчиванию и деградации циркония. Известно, что модификация поверхности циркония ионной бомбардировкой может препятствовать проникновению водорода [1, 2], однако механизм замедления наводороживания изучен недостаточно. В данной работе исследовалось влияние модификации поверхности циркония ионами аргоновой плазмы на захват дейтерия при облучении атомами с тепловыми энергиями в дейтерий-кислородной газовой смеси. Облучение в таких условиях симулирует участие «радиолизного» водорода в транспорте сквозь оксидный слой на циркониевых компонентах активной зоны реактора.

Образцы сплава Э110 (Zr-1%Nb) облучались ионами аргоновой плазмы с энергией 1 кэВ дозой $1.3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$, плотность ионного потока составляла $1.1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, температура образца $\approx 550 \text{ К}$. После этого как обработанные, так и не обработанные плазмой образцы облучались атомами дейтерия с тепловыми энергиями в смеси газов $\text{D}_2 + 30\% \text{O}_2$ (давление $\text{D}_2 - 1.2 \cdot 10^{-1} \text{ Па}$). Атомы дейтерия получались при диссоциации молекул D_2 на накаливаемой вольфрамовой проволоке. Плотность потока атомов дейтерия оценивалась как $\sim 10^{15} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, доза облучения $\sim 10^{19} \text{ см}^{-2}$, температура образца поддерживалась на уровне 600 К. Количество захваченного дейтерия определялось методом термодесорбционной спектроскопии (линейный нагрев от 300 К до 1600 К со скоростью 5 К/с). Изменения состава и структуры оксидного слоя исследовались с помощью послойного анализа методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.

Результаты экспериментов показали, что при облучении D-атомами образца, предварительно обработанного ионами аргоновой плазмы, захватывается в 2 раза меньше дейтерия, чем при аналогичном облучении необработанного плазмой образца. Кроме того, было обнаружено, что в модифицированном ионами плазмы оксидном слое после облучения атомами дейтерия содержится меньше гидроксильных групп.

Согласно результатам послойного РФЭС-анализа, облучение циркония ионами аргоновой плазмы приводит к уменьшению концентрации кислорода в оксидном слое вблизи поверхности, т.е. к росту числа дефектов, связанных с отсутствием ионов кислорода в оксиде. Причем дефектность оксидного слоя вблизи поверхности сохраняется при облучении образца с модифицированной поверхностью атомами дейтерия с тепловыми энергиями в дейтерий-кислородной газовой смеси. Поскольку водородный транспорт в оксиде циркония происходит путем перескока иона водорода между соседними ионами O^{2-} [3], то уменьшение концентрации кислорода в оксидном слое и, следовательно, увеличение среднего эффективного расстояния между соседними ионами кислорода в оксиде может являться причиной замедления проникновения изотопов водорода в цирконий.

Список литературы

- [1] K. Une, et al. // J. Nucl. Mater. 420 (2012) 445-451.
- [2] И.П. Чернов и др. // ЖТФ 84(4) (2014) 68-72.
- [3] J. Rabone, P. Van Uffelen // J. Nucl. Mater. 459 (2015) 30-36.

ОСАЖДЕНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЯ КАРБИДА БОРА НА ВОЛЬФРАМОВОЙ ПОДЛОЖКЕ

А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, И.Ю. ГРЕЦКАЯ, А.В. ГРУНИН,
М.Ю. ДЬЯЧЕНКО, Н.А. ПУНТАКОВ, Я.А. САДОВСКИЙ

В работе описана процедура напыления покрытия карбида бора на вольфрамовые подложки в установке СОПТМАТ [1]. Для проведения работ установка была модифицирована: добавлена нижняя шлюзовая камера, изготовлен подвижный ввод мишеней и подвижный охлаждаемый столик тестирования образцов. Таким образом обеспечивается быстрое переконфигурирование установки из режима напыления покрытий в режим тестирования материалов высокими тепловыми и корпускулярными потоками. Схема установки в этих двух режимах показана на рисунке 1.

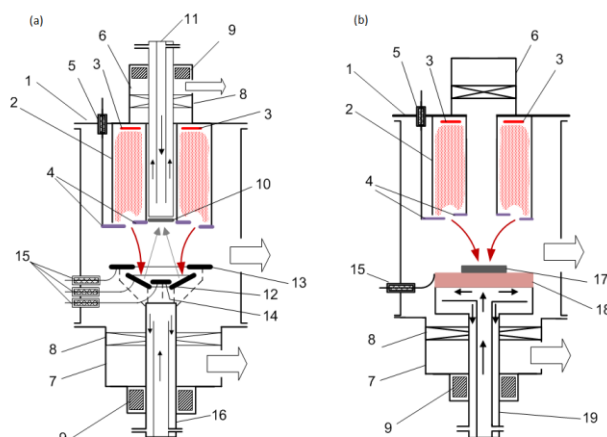


Рис. 1. Схема установки: (а) режим напыления; (б) режим тестирования. 1- вакуумная камера, 2-плазменная камера, 3-катод, 4-анод, 5-ввод движения, 6-верхняя шлюзовая камера, 7-нижняя шлюзовая камера 8-шибер, 9-уплотнение, 10-подложка для напыления, 11-ввод подложки, 12-мишень, 13-внешний антидинаatronный электрод, 14-внутренний антидинаatronный электрод, 15-электрический ввод, 16-ввод мишеней, 17-тестируемый образец 18-держатель образца 19-ввод тестируемого образца.

Напыление покрытие происходило при распылении мишени, состоящей из смеси порошков бора и углерода. Полученные покрытия проходили испытания при циклических и стационарных нагрузках ионным и электронным пучками, а также термоциклированием. Толщина напыленных покрытий составляла 2 мкм. Была разработана методика создания переходного слоя, обеспечивающего адгезию покрытия, достаточную для прохождения более 400 циклов прогрева до 900 С. Перед напылением покрытия поверхность вольфрамовой подложки распылялась ионами аргона, одновременно на нее происходило напыление атомов вольфрама. Далее потенциалы на мишенях плавно изменялись таким образом, чтобы количество вольфрама в напыляемом потоке постепенно уменьшалось, а атомов бора и углерода – увеличивалось. Полученные таким образом покрытия были облучены ионами водорода в различных режимах. В частности, был воспроизведен режим нагрузки лимитера токамака Т-10: энергия ионов 5 кэВ/ат, плотность потока мощности 0,3 МВт/м², длительность импульса 0,5 сек. Также был подобран режим, приближенный к нагрузкам в диверторе ИТЭР: энергия ионов 7,5 кэВ/ат, плотность мощности 5 МВт/м² длительность импульса 0,4 сек. В последнем случае, на покрытии наблюдалось образование редких трещин, однако отшелушивания или вздутия покрытия замечено не было.

Список литературы:

[1] Э.А. Азизов и др., ВАНТ. Серия «Термоядерный синтез», 2014, том 37, № 4, стр. 30-38.

ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЕ И ОБЛУЧЕНИЕ ПОТОКОМ ИОНОВ ВОДОРОДА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ ВОЛЬФРАМОВЫХ СЛОЕВ, ОСАЖДЁННЫХ НА ВОЛЬФРАМЕ

А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, И.Ю. ГРЕЦКАЯ, А.В. ГРУНИН,
М.Ю. ДЬЯЧЕНКО, Н.А. ПУНТАКОВ, Я.А. САДОВСКИЙ

Работа посвящена исследованию процессов в осаждённых слоях при термоциклировании и облучении потоком ионов водорода высокой плотности мощности. Поведение вольфрама при термоциклировании и при облучении плазмой в различных режимах исследовалось в целом ряде работ [1,2]. Атомы вольфрама, распылённые под действием плазменного облучения, будут формировать вольфрамовые слои при осаждении на менее интенсивно облучаемых диверторных тайлах [3].

При исследовании поведения переосаждённых вольфрамовых слоев в условиях ИТЭР необходимо учитывать, что в их составе может быть примесь бериллия и, возможно, нержавеющей стали, которые будут распыляться плазмой в других частях установки. В силу соображений безопасности в нашей лаборатории мы не можем работать с бериллием, поэтому в качестве примеси на поверхность в процессе напыления вольфрамового покрытия направлялись атомы нержавеющей стали (Fe, Cr, Ni).

Осаждение слоев и облучение потоками ионов водорода проводилось на установке CODMATT (Coating Deposition and Material Testing) [4]. Слои вольфрама формировались на полированных вольфрамовых пластинах с размерами $15 \times 7,5 \times 1$ мм³ атомами, распылёнными ионами плазмы с поверхности вольфрамовой мишени. Скорость напыления составляла 2 мкм/час. Напылялись слои толщиной 2 мкм. Для испытания перенапыленных слоев было напылено несколько образцов покрытия с малым (0.2 ат.%) и большим (2 ат.%) содержанием примеси железа в осажденном слое.

Термоциклирование образцов проводилось в Многофункциональном Исследовательском Комплексе Масс-спектрометрического Анализа (МИКМА) [5]. Образцы нагревались излучением с плоской вольфрамовой спирали, расположенной с обратной стороны тестируемого образца и разогреваемой импульсом тока в вакууме не хуже 10^{-6} Торр. Нагрев производился до температуры 1200 °С. Разброс температур по поверхности образца был не больше ± 10 °С. Образцы нагревались со скоростью 5 град./с и остывали в течение 5 минут до 300 °С.

Выполнено термоциклирование и облучение потоком ионов водорода образцов вольфрама с осажденным слоем вольфрама с различным (0.2 ат.% и 2 ат.%) количеством примеси железа в осажденном слое. При термоциклировании на поверхности осажденного слоя происходило образование глобул, причем в случае с большим количеством примеси (2 ат.%) размер глобул был больше, и составлял величину порядка 1-3 мкм. Также в образцах с большим количеством примеси наблюдалось образование пор в осажденном слое, что приводило к отслоению осажденного слоя, чего не наблюдалось в случае образцов с малым (0.2 ат.%) количеством примеси. При облучении образцов ионами водорода развитие пор в покрытиях с большим количеством примеси, и их объединение, приводило к отслоению части осажденного слоя и образованию блистеров.

Таким образом, показано, что наличие примеси в переосажденном слое может приводить к ускоренной эрозии переосажденных слоев, что в конечном итоге приведет к образованию большого количества пылевых частиц в диверторной области токамака.

Список литературы:

- [1] Krieger K., et al., J. Nucl. Mater., 313—316(2003)327—332.
- [2] Buzi L., et al., J. Nucl. Mater., 455(2014)316—319.
- [3] S. Krat, et al., J. Nucl. Mater., 438(2013)742-S745
- [4] E. Azizov, et al., J. Nucl. Mater., 463(2015)792-795
- [5] A. Airapetov, et al., J. Nucl. Mater., 415, Issue 1, Supplement, 1(2011) S1042-S1045.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГЕЛИЯ В ВОЛЬФРАМОВОМ «ПУХЕ» МЕТОДОМ ТЕРМОДЕСОРБЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В.С. ЕФИМОВ, А.Г. ПОСКАКАЛОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, К. БЫСТРОВ*

*FOM Institute DIFFER – Dutch Institute for Fundamental Energy Research, Partner in the Trilateral Euregio Cluster, the Netherlands

При облучении большими потоками гелиевой плазмы горячей (1000-2000 К) поверхности вольфрама наблюдается формирование тонких переплетенных между собой нановолокон толщиной 20-50 нм и длиной несколько микрометров («пух» (fuzz)). Внутри этих нановолокон и в поверхностном слое у их основания наблюдается множество пузырей (рис.1). Согласно теоретическим моделям, большая концентрация гелия и высокое давление газа в пузырях инициируют рост наноструктур на поверхности. Для более детального описания механизмов роста необходимо знать концентрацию гелия в этих структурах. В данной работе методом термодесорбционной спектроскопии была определена концентрация гелия в вольфрамовом «пухе» (fuzz), полученном при облучении вольфрамовой фольги (Plansee толщиной 25 мкм) гелиевой плазмой на установке Pilot-PSI (DIFFER, Нидерланды) [1] при температуре 1200°C. Поток ионов гелия составлял 2.9×10^{23} He/м²сек, время облучения 3600 секунд. Итоговая доза составила около 10^{27} He/м².

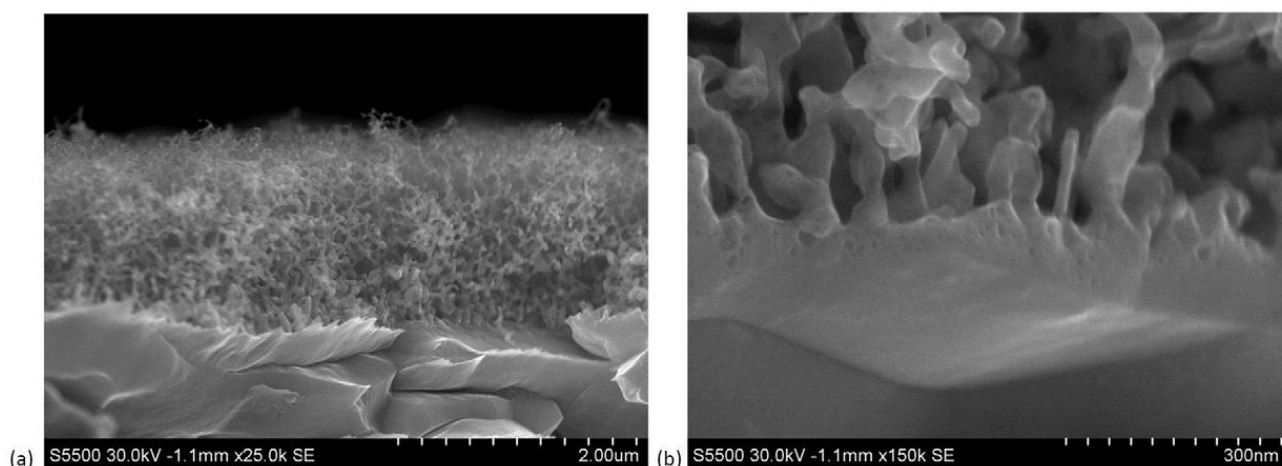


Рис. 1. РЭМ-изображение вольфрамового «пуха», образованного после облучения гелиевой плазмой на установке Pilot-PSI. Температура поверхности в ходе облучения – 1500 К

Для термодесорбционных измерений было подготовлено два образца. Термодесорбционная спектроскопия для первого образца была проведена без каких-либо дополнительных воздействий. Второй образец был механически очищен от «пуха». Вес удаленного слоя был определен с помощью высокоточных весов (точность - 1 мкг). Термодесорбционный анализ обоих образцов проводился до температуры 2150 К. После нагрева до этой температуры пуха на образцах уже не наблюдалось

Итоговое значение для концентрации гелия в удаленном слое оказалось равным He/W = (13±4) ат.%. Оценка давления в пузырьках, полученная на основе этих данных, дает значение 0,7 ГПа.

Список литературы:

[1] Westerhout J. et al. 2007 *Phys Scr.* **T128** 18.

ОТЖИГ ТОЧЕЧНЫХ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ВОЛЬФРАМЕ

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

Накопление изотопов водорода в вольфраме в значительной степени определяется структурой дефектов. В данной работе проводилось исследование взаимодействия дейтерия с радиационными дефектами в вольфраме, созданными кэвными ионами дейтерия, а также изучение стадий их трансформации и отжига.

Эксперименты проводились на установке «МЕДИОН». 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. Первичные дефекты в образце создавались масс-сепарированным пучком ионов D^+ с энергией 10 кэВ. Доза облучения составляла $3 \times 10^{19} \text{ D/m}^2$. Для удаления внедренного дейтерия из образца и для модификации структуры дефектов после облучения образец нагревался и выдерживался при различной температуре в диапазоне 500—1400 К. Затем полученная структура дефектов «наполнялась» дейтерием с помощью малоэнергетичных ионов (0,67 кэВ/D, доза - $1 \times 10^{19} \text{ D/m}^2$) без образования дополнительных повреждений. Через 3 часа после облучения проводился термодесорбционный анализ со скоростью нагрева 2 К/с.

По мере увеличения температуры отжига образца перед повторным облучением термодесорбционные спектры менялись, отражая изменения структуры дефектов (на рис. 1 представлены некоторые из этих спектров).

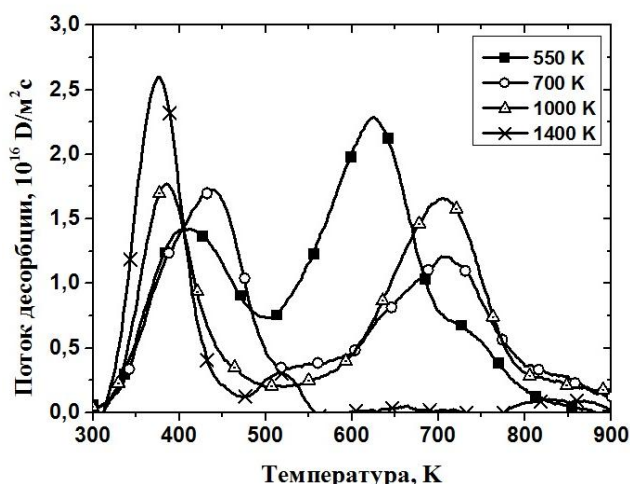


Рис. 1. Спектры термодесорбции дейтерия из вольфрама, отожженного при различных температурах

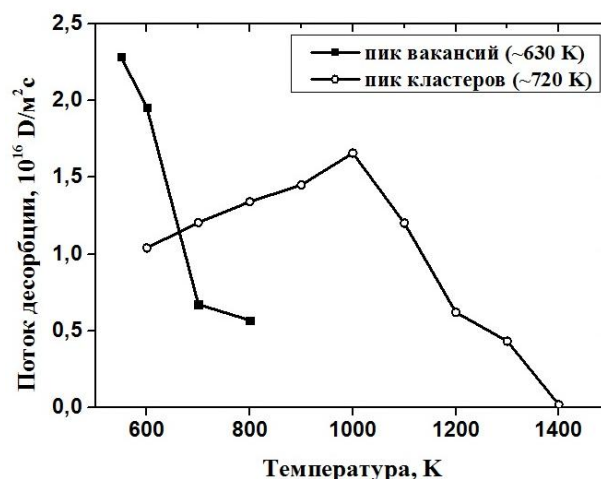


Рис. 2. Зависимость амплитуд пиков от температур отжига

Из рис. 1 видно, что некоторое уменьшение пика при ~630 К, отвечающего выходу дейтерия из вакансий, происходит уже при температуре отжига образца 600 К, а при увеличении температуры до 700 К этот пик уже практически не разрешим. При этой же температуре в спектре начинает преобладать пик, отвечающий захвату в вакансионных кластерах. Таким образом, можно утверждать, что при температуре 600—700 К эффективно происходит процесс объединения вакансий в кластеры. На рис. 2 эта тенденция проиллюстрирована более наглядно. Максимальная высота пика при ~720 К, соответствующей выходу дейтерия из кластеров вакансий, достигается при температуре отжига образца 1000 К. Дальнейшее увеличение температуры приводит к уменьшению этого пика, и при температурах в диапазоне 1300—1400 К амплитуда пика достигает уровня фона.

МОДИФИКАЦИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВОЛЬФРАМА В РЕЗУЛЬТАТЕ ВАКУУМНОГО ПРОБОЯ

Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, D. HWANGBO¹, S. КАЙТА², N. OHNO¹,
Д.Г. БУЛГАДАРЯН, В.А. КУРНАЕВ, Д.В. КОЛОДКО

¹Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya 464-0803, Japan

²EcoTopia Science Institute, Nagoya University, Nagoya 464-8603, Japan

Униполярные дуги являются негативным явлением, возникающим между плазмой и первой стенкой в современных термоядерных установках. Механизм инициации дуги еще не до конца изучен, однако, важную роль в нем играют свойства обращенного к плазме материала. Поскольку вольфрам будет одним из основных материалов диверторной области ИТЭР, достаточно важной задачей является исследование зажигания дуг с вольфрама, покрытого наноструктурами в виде «пуха», который может возникать при облучении вольфрама ионами гелия.

Для исследования процессов инициации вакуумного пробоя образец с вольфрамовым «пухом» был помещен в вакуумный диод в качестве катода. При увеличении напряженности электрического поля свыше 10 кВ/мм происходили резкие всплески предпробойного тока, после которых ток эмиссии возрастал на 2-3 порядка (до десятков мкА) и оставался на этом уровне даже после повторной экспозиции на атмосфере. Причиной такого изменения было образование кратеров на поверхности.

На рис.1 показана область после микропробоя, на которой можно наблюдать следы, по форме напоминающие снежинки. Эти следы состоят из отдельных точечных (диаметром ~2 мкм) кратеров, которые предположительно являлись катодными пятнами дуги, возникшей при микропробое. Треки кратеров-снежинок довольно фрактальны и имеют центральную симметрию. Это означает что поверхность катода, покрытая наноструктурами, довольно однородна для дуги, и она следует по ней случайным образом. Ранее подобные кратеры на металлических поверхностях не наблюдались.

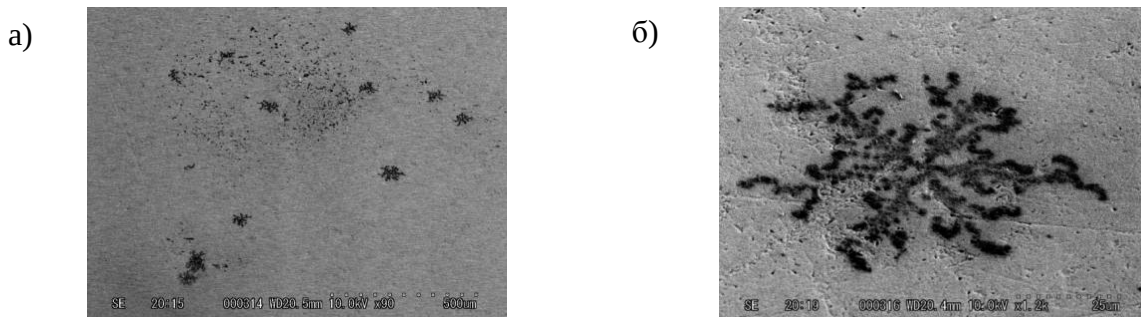


Рис.1 Фотографии кратеров-снежинок на наноструктурированной вольфрамовой поверхности после пробоя

Помимо кратеров на поверхности катода можно обнаружить некоторое количество пыли, свидетельствующей о значительной эрозии поверхности. Однако распределение кратеров-снежинок по поверхности не коррелирует с распределением пыли.

Ток дуги значительно больше тока, который может пропустить установленное в цепь питания токоограничивающее сопротивление, поэтому основным источником выделяющейся при пробое энергии может быть только емкость вакуумного диода. Когда температура катодного пятна достаточна для кипения жидкого материала катода, то дуге энергетически выгодно переместиться на соседнее место из-за плохой электронной проводимости металлического пара и более низкого сопротивления холодного соседнего места. Таким образом, энергия необходимая для испарения «пуха» с образованием снежинок должна быть сравнима с полной энергией вакуумного диода. Подсчет количества испаренного материала по микрофотографиям показал, что энергия, необходимая для его испарения, сопоставима с энергией, запасенной в емкости вакуумного диода для различных напряжений пробоя.

ПРЕДПРОБОЙНЫЕ ТОКИ С ПОВЕРХНОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ВОЛЬФРАМА ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ КСЕНОНА

Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, Д.Г. БУЛГАДАРЯН, Д.В. КОЛОДКО, В.А. КУРНАЕВ

Модификация поверхности вольфрамового нанопуха, возникающего при больших потоках ионов гелия на горячую вольфрамовую стенку, необходима для снижения вероятности зажигания униполярных дуг - негативного явления, приводящего к загрязнению плазмы. Начальный этап зажигания униполярной дуги связан с эмиссией предпробойных токов, которые в данной работе измерялись по мере модификации поверхности нанопуха в результате бомбардировки ионами ксенона.

На рис.1 показаны фотографии одного и того же места на поверхности вольфрамового нанопуха по мере увеличения дозы облучения ионами Xe^+ с энергией 5 кэВ от 0 до $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Видно, что облучение приводит к укрупнению наноструктур, что, в свою очередь, должно приводить к снижению усиления электрического поля на их вершинах и, как следствие, снижению интенсивности предпробойного тока. Укрупнение наноструктур при ионном облучении было впервые обнаружено в данной работе и предположительно связано с локальным плавлением и ионно-индуцированным выходом гелия из наноструктур.

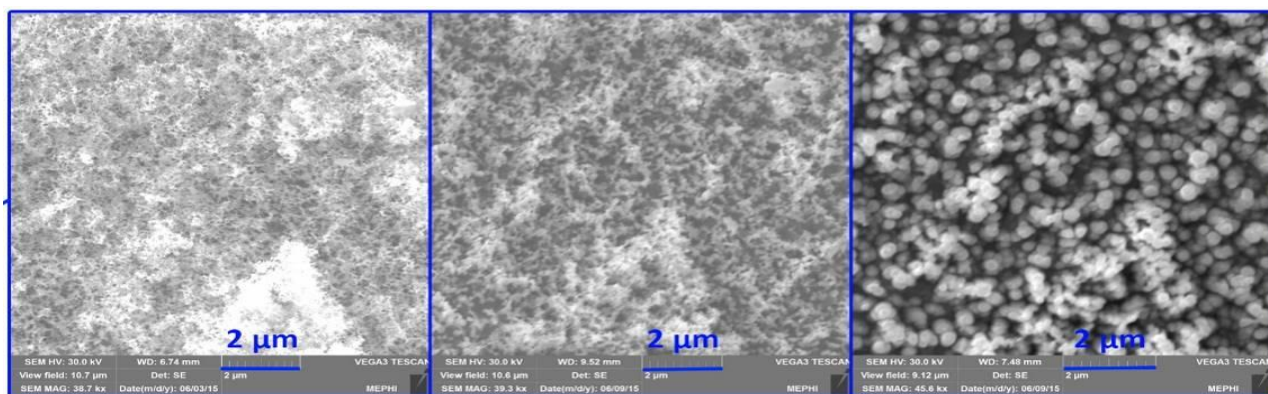


Рис.1 Фотографии одной и той же области на поверхности вольфрамового нанопуха при дозах облучения ионами Xe^+ 0, $1 \cdot 10^{17}$, $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ соответственно.

Измерение предпробойных токов проводилось в специально разработанном вакуумном диоде, где исследуемый образец является катодом, а анод изготовлен из нержавеющей стали. Система крепления катода позволяет выполнять повторные снятия вольт-амперных характеристик с образцов, прошедших облучение, без изменения длины вакуумного промежутка. Проведено измерение предпробойных токов с одной и той же области образца до облучения Xe^+ и после. Облучение привело к снижению предпробойных токов более чем на два порядка при тех же напряженностях электрического поля. При этом коэффициент усиления электрического поля, рассчитанный согласно формуле Фаулера-Нортгейма по измеренным вольт-амперным характеристикам снизился с 370 до 140. Таким образом, облучение поверхности вольфрамового нанопуха тяжелыми ионами с дозами 10^{17} - 10^{18} см^{-2} позволяет снизить вероятность зажигания униполярной дуги, не приводя при этих дозах к существенной эрозии поверхности.

5. ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

МАГНЕТРОННОЕ ОСАЖДЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ TiN ПОКРЫТИЙ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ СПЛАВА AA2139

Т.В. СТЕПАНОВА, А.В. КАЗИЕВ, А.В. ТУМАРКИН, М.М. ХАРЬКОВ,
М.М. БЕРДНИКОВА, А.А. ПИСАРЕВ, М.В. АТАМАНОВ*, Н.Ф. ИЗМАЙЛОВА**

*ЗАО «ИНАКОТЕК», Москва

**ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение», Уфа

В работе представлены результаты исследования структуры и свойств образцов из алюминиевого сплава AA2139 с нанесенным на их поверхность с целью улучшения износостойкости, прочности и коррозионной стойкости поверхности покрытием из TiN. Перед нанесением покрытия образцы очищались пучком ионов Ar с энергией 2,2 кэВ в течение 5 мин. Покрытие наносилось реактивным распылением Ti в магнетронном разряде в атмосфере Ar+N₂ (5:1) при давлении 1.2×10^{-2} Па. Напряжение на разрядном промежутке составляло 400 В, ток разряда 10 А, на образцы подавалось смещение $U = -60$ В. Время обработки составляло 10 или 30 мин (соответственно образец 10 и образец 30). Структура полученных образцов исследовалась с помощью СЭМ Tescan Vega 3. Измерения твердости проводились с помощью Future-Tech FM-800. Диагностика адгезионных свойств покрытий выполнялась на скретч-тестере Anton Paar Revetest. Тесты полученных покрытий на коррозионную стойкость проводились в 10 вес.% водном растворе КОН. Результаты измерений микротвердости поверхности образцов показаны на рис. 1. На рис.2 показаны фотографии шлифа поверхности образцов 10 и 30. Алюминиевый сплав внизу, запрессовочная смесь наверху. Толщина покрытия составляет около 1 мкм для образца 10 и около 3 мкм у образца 30. Диагностика образцов на скретч-тестере показала улучшение адгезионных свойств покрытия при 3-х кратном увеличении его толщины от 6,1 Н для образца 10 до 16 Н для образца 30.

Тесты на коррозионную стойкость показали, что нанесение покрытия TiN замедляет коррозию алюминиевого сплава под ним, и с увеличением толщины покрытия коррозионная стойкость улучшается. Усталостные испытания проводились на электродинамическом вибростенде. Предел выносливости образцов в исходном состоянии на базе $N = 20 \times 10^6$ циклов находился на уровне 14 кгс/мм². Для образцов с покрытием TiN толщиной 1 мкм эта величина составила 16 кгс/мм², а для образцов с покрытием 3 мкм -16–17 кгс/мм².

Таким образом, полученные покрытия повышают твердость поверхности, имеют хорошую адгезию, обеспечивают коррозионную стойкость в растворе щелочи и улучшают усталостные свойства алюминиевого сплава.

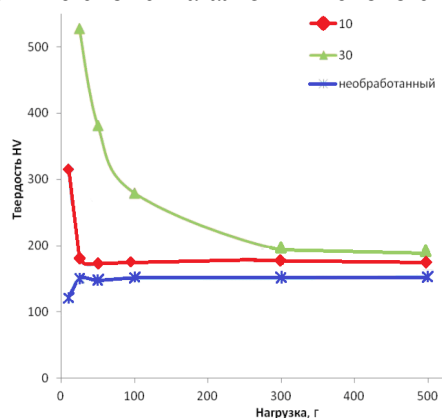


Рис.1. Микротвердость поверхности в зависимости от нагрузки

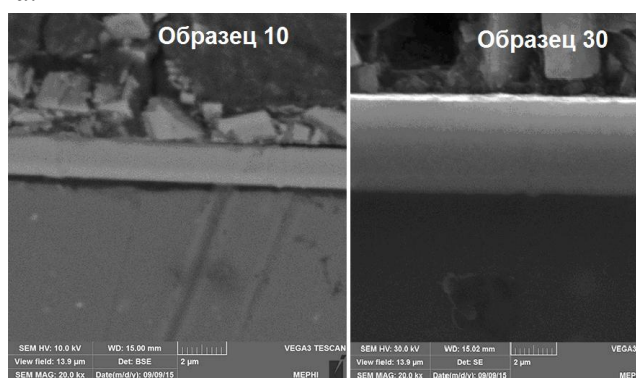


Рис.2 СЭМ изображение шлифа поверхности образцов

ОБЕЗГАЖИВАНИЕ СТЕНОК ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ ПРИ ЕЕ ОБЛУЧЕНИИ ПЛАЗМОЙ С ПРИМЕСЬЮ КИСЛОРОДА

Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.С. КАПЛЕВСКИЙ, Я.А. САДОВСКИЙ

Представлены ранее полученные и новые эксперименты по изучению газообменных процессов на поверхности нержавеющей стали при ее облучении атомами водорода и водородной плазмой газового разряда с накальным катодом в трехэлектродной системе (анод, накальный катод, промежуточный анод), в том числе, одновременно с кислородным облучением. Исследовались зависимости этих процессов от различных параметров облучения, таких как температура и энергия облучающих ионов. Также изучалось обезгаживание стенок при облучении гелиевой и аргоновой плазмой с примесью кислорода и при облучении дейтериевым тлеющим разрядом с примесью кислорода.

Обнаружено, что увеличение температуры стенок разрядной камеры приводит к повышению десорбции водорода из стенок на 20%. При увеличении энергии облучающих стенки ионов дейтериевой плазмы существенно падает захват атомов дейтерия (табл. 1), что приводит к ускорению обезгаживанию нержавеющей стали (растет отношение выхода дейтерия к захвату водорода).

Таблица 1. Десорбция водорода и захват дейтерия в стенки плазменной камеры при их облучении в течении 40 минут ионами $D_2 + 10 \text{ ат. \% } O_2$ плазмы с энергиями 10, 50 и 100 эВ/ат при температуре 40 °С.

Энергия ионов, эВ/ат	Выход водорода из стенок, (N_H) 10^{21} ат./м ²	Захват дейтерия в стенки, (N_D) 10^{21} ат./м ²	N_H/N_D
10	1.7	0.9	1.9
50	1.8	0.4	4.5
100	1.3	0.3	4.3

При облучении гелиевой и аргоновой плазмой с примесью кислорода также происходит выход водорода из стали, но количество вышедшего водорода в несколько раз меньше, чем в случае облучения дейтериевой плазмой с примесью кислорода (табл. 2). Показано, что десорбция водорода из нержавеющей стали происходит при облучении ионами и атомами тлеющего разряда в дейтерии с примесью кислорода как с горячим, так и с холодным катодом.

Таблица 2. Десорбция водорода из стенок камеры при их облучении в течении 40 минут при температуре 80°С дейтериевой, гелиевой и аргоновой плазмой с примесью кислорода.

Состав рабочего газа	Выход водорода из стенок, (N_H) 10^{21} ат./м ²
$D_2 + 10 \text{ ат. \% } O_2$	1.7
$He + 10 \text{ ат. \% } O_2$	0.8
$Ar + 10 \text{ ат. \% } O_2$	0.2

Анализ проведенных экспериментов показал, что лучшим режимом обезгаживания стенок является облучение ионами с энергией 50 эВ/ат дейтериевой плазмы с 10% примесью кислорода. Облучение стенок плазмой в дейтерии с 30% примесью кислорода при температуре стенок 200°С, является лучшим режимом для их детритизации. Обезгаживание и детритизация стенок плазмой тлеющего разряда с примесью кислорода возможна, но их эффективность меньше, чем при использовании плазмы газового разряда с накальным катодом в трехэлектродной системе. Гелиевая плазма с примесью кислорода обеспечит максимальную степень обезгаживания и детритизация вакуумных камер при длительном облучении.

СМАЧИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ЛИТИЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЖИДКИМ ЛИТИЕМ

С.А. КРАТ, А.С. ПОПКОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ, И.А. ЩЕЛКАНОВ,
Д. Н. РУЗИК*

* Университет Иллинойса в Урбана-Шампэйн (США)

Для реализации различных концепций обращенных к плазме элементов на основе жидкого лития важным условием является смачиваемость поверхности. В работе изучалось смачивание твердых соединений лития (нитрид, оксид, карбонат лития) жидким литием при различных температурах поверхности соединений в сравнении с чистыми металлами. Эксперименты проводились на установке MCATS (Университет Иллинойса в Урбана-Шампэйн). Измерялись контактные углы между каплями жидкого лития и плоскими поверхностями, покрытыми соединениями лития. Диапазон исследованных температур поверхностей был от 230°C до 330°C. Температура жидкого лития была близка к 200°C. По полученным контактным углам и литературным данным о зависимости поверхностного натяжения жидкого лития от температуры были рассчитаны поверхностные натяжения на границе раздела между твердыми соединениями лития и вакуумом при различных температурах.

Нитрид и оксид лития получались путём испарения лития в вакууме на стальную пластину с последующим напуском реактивного газа (азота для получения нитрида, кислорода для получения оксида) в установку до давления порядка 10 торр на время порядка двух часов. Карбонат был получен экспонированием плёнки лития в атмосферном воздухе в течении порядка 12 часов. Состав поверхности был проверен при помощи рентгеновской фото-электронной спектроскопии (РФЭС).

Наименьшая температура смачивания (температура, при которой контактный угол между жидким и твердым веществом равен 90 градусов) наблюдалась для нитрида (257°C), и для оксида (259°C). Эти значения ниже, чем для чистых металлов: стали, молибдена, вольфрама, сплава TZM, тантала (рис. 1). Для карбоната лития температура смачивания на уровне значений для чистых металлов. Таким образом, образование на поверхности конструктивных элементов литиевых соединений должно приводить к улучшению смачивания жидкого лития.

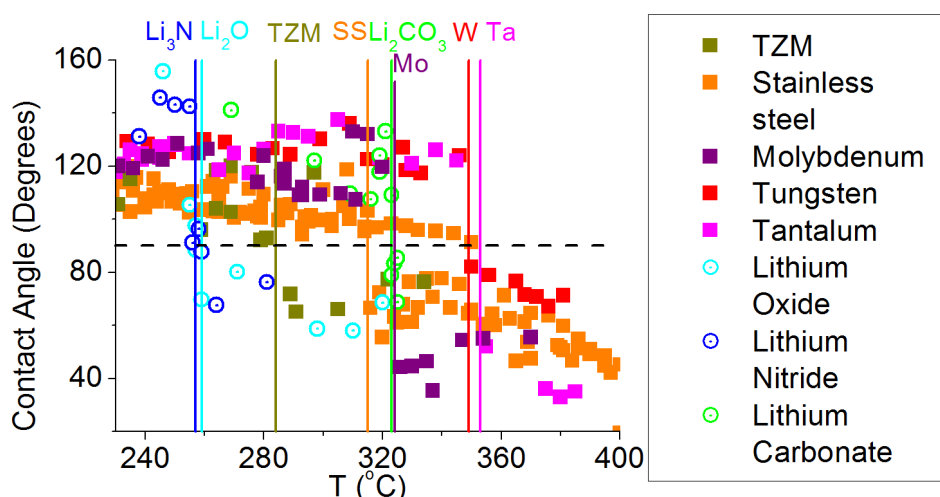


Рис. 1. Контактные углы между жидким литием и поверхностью для соединений лития и различных металлов в зависимости от температуры поверхности

Список литературы:

[1] Субботин В.И. и др. Литий. Москва: ИЗДАТ, 1999. 262 с.

ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДНОГО ЭЛЕКТРОДА СУПЕРКОНДЕНСАТОРА

А.А. ПИСАРЕВ, Г.М. ТАРАСЮК, В.В. КОЗЛОВА, А.Ю. РЫЧАГОВ*, К.К. ДЕНЬЩИКОВ**,

*ИФХЭ РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва

**ОИВТ РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединённый институт высоких температур РАН, Москва

В работе исследовалось влияние обработки пористого угольного электрода суперконденсатора в азотной плазме тлеющего разряда. В качестве исходного электродного материала использовался промышленный материал, производства Norit DLS Supra 30, из которого изготавливаются электроды наборных суперконденсаторов. Материал представляет собой ленту, состоящую из смеси активированного угля, электропроводящего наполнителя и полимерного связующего.

Электрическая емкость определялась по вольтамперным характеристикам симметричной электрохимической ячейки, к токосъемникам которой подавалось изменяющееся во времени напряжение. Измерения проводились при различных скоростях увеличения и уменьшения напряжения на ячейке.

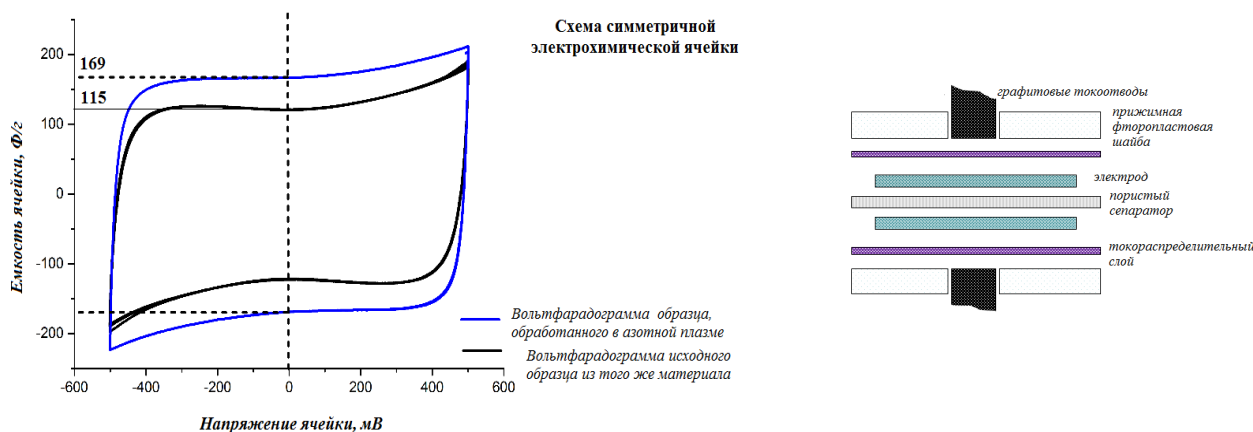


Рис 1. Вольтфарадные циклические кривые сравнения исходного электрода из пористого углерода с обработанным в плазме электродом в 0.5 молярном растворе H_2SO_4 при скорости развертки потенциала 2 мВ/с.

Измерения показали, что обработка угольных электродов в азотной плазме тлеющего разряда привела к увеличению емкости электрохимической ячейки на 47%. Эксперименты по смачиваемости поверхности электродного материала показали, что скорость пропитки электролитом увеличилась после плазменной обработки по сравнению с необработанным образцом. Исходный образец после погружения в электролит оставался плавать на поверхности несколько суток, в то время как обработанные в плазме образцы тонули в электролите в течение 20 минут. Наблюдалась потеря массы образца на единицу видимой поверхности.

Можно предположить, что наблюдаемое в этих экспериментах увеличение емкости обусловлено увеличением площади контакта электролита с электродом за счет лучшей смачиваемости пористой поверхности.

АНАЛИЗ МИКРОТВЕРДОСТИ КАТОДА ПОСЛЕ 50 РАЗРЯДОВ СНВИ

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

Для получения представлений о количественных характеристиках, связанных с модификацией поверхности катода в разряде типа «сильноточная низкоиндуктивная вакуумная искра» было проведено исследование микротвердости различных областей катода после обработки его поверхности 50 разрядами. Исследования проводились для катода из стали (Ст.45) диаметром 20 мм. Для этого катод перед помещением в разрядный промежуток подвергался шлифовке и электрохимическому травлению, что позволило снизить влияние токарной обработки на модификацию поверхностной структуры катода. После обработки 50 разрядами СНВИ (ток разряда – 180 кА, энергия – 1,35 кДж), катод был разрезан на искровом станке на четыре части, и подготовлены шлифы для исследования микротвердости по глубине. Исследования микротвердости проводились на твердомере ПТМ-3М (ЛОМО) с пирамидальным индентором Берковича.

Направления, по которым производилась резка катода, показаны на рис. 1. На рис. 2 представлены результаты для линии реза, расположенной на расстоянии 2 мм от центра катода, расстояние отсчитывается от плоскости перпендикулярной линии реза и проходящей через центр катода (ось x).

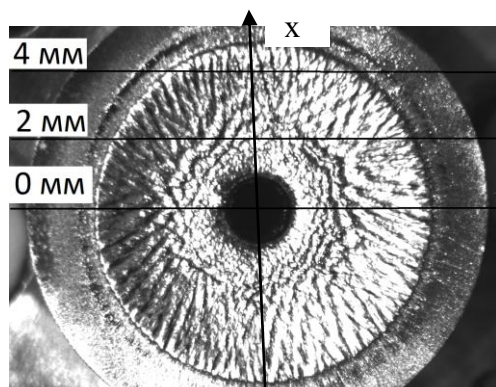


Рис.1. Линии, вдоль которых был разрезан катод (по центру, 2 и 4 мм от оси разрядного промежутка).

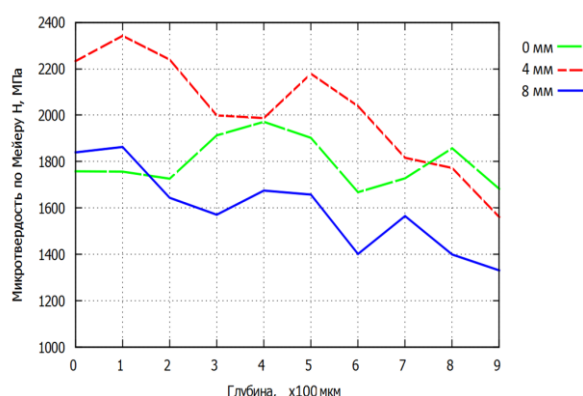


Рис.2. Зависимость микротвердости от глубины от поверхности катода (линия 2 на рис.1) на разном расстоянии от оси x .

В результате было установлено:

- На расстояниях 7÷9 мм от оси разрядного промежутка в области, которая выходит за пределы взаимодействия прямых потоков плазмы с поверхностью катода, микротвердость слабо меняется с глубиной и имеет самые низкие значения - в среднем 1500 МПа.
- Максимальное увеличение микротвердости находится в области 0÷4 мм от оси разрядного промежутка. Значения в этой области составляют от 1800 МПа до 3100 МПа. Данная область подвержена наиболее интенсивному воздействию плазменных потоков.
- Из сравнения областей наиболее и наименее подверженных воздействию плазмы разряда обнаружено, что модификация поверхности катода интенсивным плазменным воздействием приводит к увеличению микротвердости в 2 раза.

МОДИФИКАЦИЯ СТЕКЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОТОКОВ ВЕЩЕСТВА ИЗ МЕЖЭЛЕКТРОДНОГО ПРОМЕЖУТКА СНВИ

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

В исследованиях, связанных с диагностикой импульсной плазмы сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры (СНВИ), плазменного фокуса, лазерной плазмы и т.д. с помощью лазерно-оптических методов часто возникают проблемы, связанные с деградацией диагностических окон под действием потоков вещества, распространяющегося из области плазмообразования. В данной работе исследовалась модификация стеклянных образцов под действием вещества, эмитированного из межэлектродного промежутка установки «Пион».

Стеклянные образцы, расположенные на различных расстояниях от оси разрядного промежутка (22 – 66 мм), подвергались обработке 50-ю разрядами. Параметры разрядов были следующими: напряжение - 15 кВ, запасаемая энергия - 1350 Дж, материал электродов – сталь (Ст.45). После обработки образцы исследовались с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Обнаружено, что характер запыления образцов сильно изменяется с увеличением расстояния от оси разрядного промежутка. На малых расстояниях (22 мм) напыляется толстый слой железа с большим количеством капель разного размера (до 200 мкм) и присутствуют трещины (рис.1а). На больших расстояниях (66 мм) (рис.1б) – рельеф сглажен, капель мало и они небольшого размера (до 25 мкм). Средний размер капли уменьшается при удалении от оси разряда от ~140 мкм (22 мм от оси разряда) до ~20 мкм (66 мм от оси разряда) (рис.3). С удалением от оси разряда снижается и поверхностная плотность осажденных капель (в расчет не берутся капли меньше 10 мкм) (рис.4).

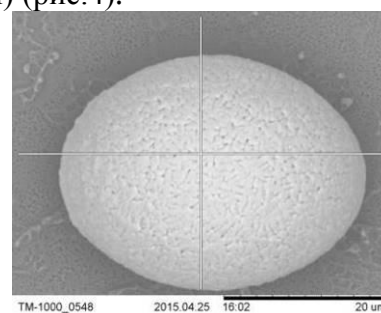
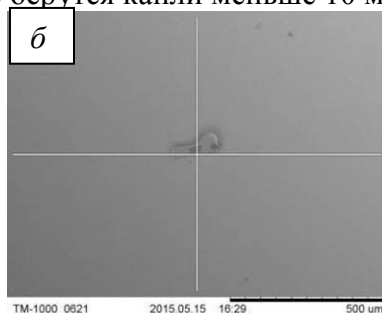
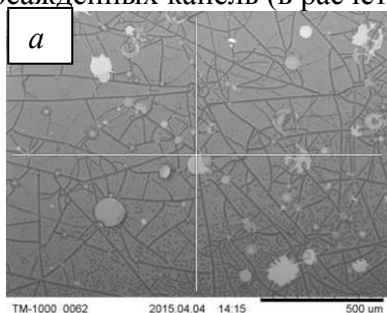


Рис.1. СЭМ поверхности образцов на расстоянии 22 мм (а) и 66 мм (б) от оси разряда

Рис.2. СЭМ капли с поверхностной структурой

На всех каплях с размерами больше или порядка 10 мкм формируется периодическая структура с размерами от 400 нм (на расстоянии 22 мм от оси разрядного промежутка) до 2000 нм (на расстояниях больше 50 мм от оси разрядного промежутка)

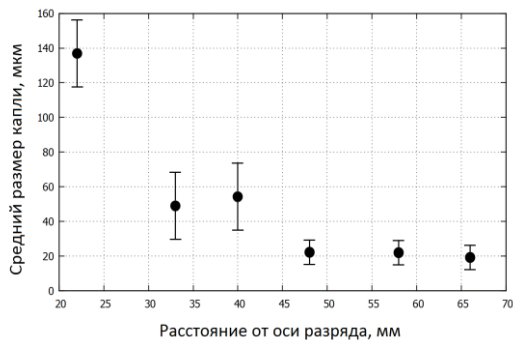


Рис.3. Средний размер капли в зависимости от расстояния от оси разряда

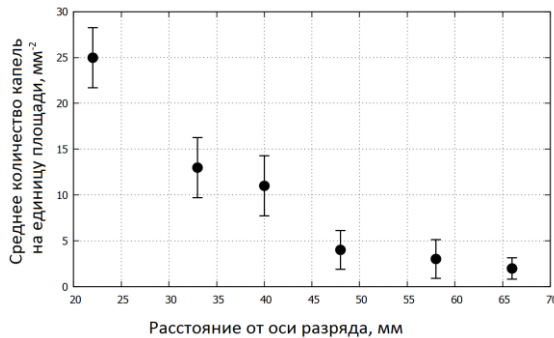


Рис.4. Поверхностная плотность капель (количество капель на единицу площади) в зависимости от расстояния от оси разряда

6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПРИБОРЫ

ВСТРАИВАЕМЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ УСТАНОВКИ ПР-2

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

Разработан и испытан встраиваемый диагностический модуль для установки ПР-2 (см. рис. 1). Модуль состоит из статического магнитного масс-анализатора с 180° фокусировкой, использующего собственное магнитное поле установки [1-3], и системы из двенадцати зондов Ленгмюра, с помощью которых можно контролировать параметры плазмы в области масс-анализа. Также конструкция прибора играет роль вакуумной диафрагмы, обеспечивая дифференциальную откачку анализатора.

Масс-анализатор состоит из входной диафрагмы, ограничивающей область горения разряда шириной 1 мм, корпуса с пятью щелями шириной 1 мм и четырех коллекторов для детектирования различных ионов в различных диапазонах масс. Развертка массового спектра осуществляется изменением ускоряющего потенциала, приложенного между входной щелью и сегментом анализатора. Ионы попадают во входную щель анализатора непосредственно из плазменного шнура, ускоряются в 2 мм промежутке между входной щелью и корпусом анализатора и попадают в область бесполевого пространства, где происходит разделение их по M/Z и фокусировка. Входная щель анализатора электрически изолирована, что позволяет производить измерение массового спектра как положительных, так и отрицательных ионов.

а)

б)

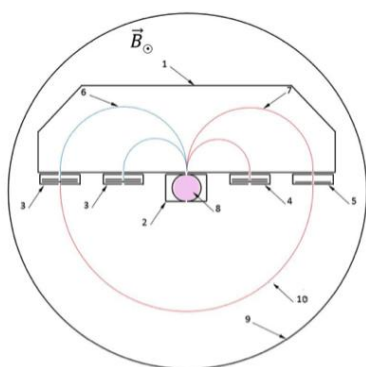


Рис. 1. Масс-анализатор ионного состава плазмы (система зондов Ленгмюра не показана):

- а) Схема анализатора: 1 – корпус; 2 - входная диафрагма со щелью; 3 – коллекторы отрицательных ионов; 4, 5 - коллекторы положительных ионов; 6, 7 - траектории ионов; 8 - плазменный шнур; 9 - стенка вакуумной камеры; 10 – траектория ионов в импульсной ступени.
б) Внешний вид анализатора.

Эксперименты показали, что разработанный модуль может применяться для качественного и количественного *in-situ* комплексного анализа параметров и ионного состава плазмы. Масс-спектрометр обладает достаточной разрешающей способностью для ионов рабочих газов, применяемых на ПР-2, и легких примесей для количественного анализа ионного состава плазмы. В области тяжелых примесей или при анализе многокомпонентной плазмы прибор позволяет только качественно оценивать относительные ионные потоки различных компонент. Также впервые в рамках одного эксперимента на линейных симуляторах был снят полный масс-спектр ионов обоих знаков.

Список литературы:

- [1] H. Kojima et al., JNM, 128&129, 965-968 (1984)
- [2] I.V. Vizgalov et al., Instrum. Exp. Techniques, 42, 718-721 (1999)
- [3] O. Waldmann et al., 34th EPS Conf. On Plasma Phys. Warsaw, 31F, 5.108 (2007)

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ЗОНДА ДЛЯ СБОРА ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В ТЕРМОЯДЕРНЫХ УСТАНОВКАХ

Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.Н. ВОЙТЮК, А.М. ЗАХАРОВ

Образование пылевых частиц отмечено практически во всех современных термоядерных установках. Накопление пыли в ТЯУ следующего поколения может существенно повлиять на параметры плазмы и привести к аккумулярованию в ней большого количества трития. Поэтому актуальны измерения скорости формирования и осаждения пыли и исследование параметров пылевых частиц. Для этого необходимо устройство, способное собрать пыль и вывести её за пределы установки для последующего изучения.

В работе исследовано поведение частиц мелкозернистого вольфрамового порошка в электростатическом поле. Для исследований использовался порошок вольфрама, имеющий размер отдельных частиц от 1 до 10 микрон. Размеры частиц использованного порошка вольфрама приблизительно соответствовали размерам пылевых частиц, образующихся в камерах современных термоядерных установок. Была предложена конструкция устройства (электростатический зонд) для сбора электропроводящей пыли, изготовлена действующая модель и проведены её испытания. В процессе испытаний модель зонда использовалась для сбора металлической вольфрамовой пыли в различных условиях: в вакууме, на воздухе, в атмосфере осушенного азота. Эксперименты проводились в неподвижном состоянии и при движении зонда относительно поверхности со слоем пыли.

Зонд представляет собой резервуар из тонкой листовой нержавеющей стали, две стороны которого представляют собой горизонтальные прямоугольные пластины, расположенные одна над другой. Пластины с трёх сторон ограничены вертикальными стенками, а четвёртая стенка выполнена из жалюзи (сетки) и наклонена к поверхности. Между зондом и покрытой пылью поверхностью создается разность потенциалов, достаточная для преодоления частицами пыли под действием электростатического поля силы тяжести и силы адгезии и для попадания в резервуар зонда через прорезы в наклонной стенке. При движении зонда параллельно поверхности так, чтобы наклонная стенка с прорезами была впереди по направлению движения, производится очистка поверхности от пылевых частиц.

При проведении испытаний с неподвижным расположением зонда зазор между дном зонда и поверхностью с порошком составлял 3 мм. В вакууме при подаче на зонд потенциала, превышающего приблизительно 2000 В, подавляющая часть частиц порошка примерно за 6-8 минут исчезала с пластины, и порошок собирался в резервуаре зонда. Скорость сбора порошка и степень сбора его в зонд увеличивались при увеличении потенциала зонда. Знак потенциала на зонде никак не влиял на процесс переноса порошка из кучки в резервуар зонда. При испытании зонда в атмосфере осушенного азота результаты сбора порошка оказались близкими к результатам, полученным в вакууме. При работе зонда на воздухе было отмечено увеличение налипания частиц порошка на внешней поверхности зонда, а также увеличение количества порошка, остававшегося на поверхности.

Взаимное движение зонда и порошка относительно друг друга было организовано перемещением пластины с порошком относительно зонда. Зонд, на который подавался потенциал до 5000 В, по-прежнему был закреплен неподвижно, а порошок располагался на заземленной пластине, которая двигалась навстречу зонду. Порошок наносился на пластину в виде дорожки, ширина которой варьировалась, для исследования характера сбора порошка, расположенного на разном расстоянии от оси зонда.

Показано, что при движении зонда относительно поверхности, покрытой слоем вольфрамовой пыли с размерами пылинок в диапазоне 1-10 микрон, он может обеспечить сбор приблизительно до 95% пыли.

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ МР-2 ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СООСАЖДЕНИЯ ДЕЙТЕРИЯ И ЛИТИЯ

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

Установка МР-2 предназначена для изучения соосаждения дейтерия и материала катода в условиях магнетронного разряда. Установка состоит из двух камер с независимой откачкой: камера напыления, камера термодесорбционной спектроскопии (ТДС), а также система переноса образца между камерами. Возможность определения накопления дейтерия без взаимодействия с атмосферой позволяет проводить эксперименты с такими активными элементами, как литий, что было продемонстрировано ранее. Для проведения точных количественных измерений концентрации дейтерия в пленках, а также для проведения экспериментов по взаимодействию литиевых пленок с различными газами была произведена модернизация установки.

Для точного измерения толщины осаждаемых пленок была установлена система кварцевого микробаланса (КМБ). Для учета различной скорости осаждения в месте расположения датчика КМБ и в месте расположения подложки были дополнительно проведены калибровочные измерения. В ходе одного осаждения было установлено несколько подложек в различных частях установки, а количество осажденного лития на них было определено методом ядерных реакций в Институте физики плазмы (Гархинг, Германия).

С целью улучшения вакуумных условий и повторяемости экспериментов совместно с ОАО «Красная звезда» на основе капиллярно-пористой системы (КПС) был разработан новый катодный узел, наполняемый литием. С такой системой можно проводить длительную серию экспериментов по соосаждению без открытия камеры на атмосферу. В сборке нового катодного узла использовались только металлические уплотнения.

Для улучшения вакуумных условий в ходе осаждения в камере напыления была установлена криогенная ловушка. С целью уменьшения фоновых сигналов при проведении термодесорбционного анализа (ТДС) установлена новая вакуумная камера ТДС с водяным охлаждением стенок.

Для обеспечения возможности изучения взаимодействия осаждаемых пленок с различными газами, а также для изучения влияния примесей в ходе осаждения разработана двухканальная система газонапуска, позволяющая проводить одновременный и отдельный напуск дейтерия и вспомогательных газов (азот, кислород, водород, аргон). Система газонапуска позволяет также проводить калибровку сигнала квадрупольного масс-спектрометра по всем перечисленным газам.

Произведен ряд изменений и в системе перемещения экспериментального образца, а также в системе экранов в камере напыления для предотвращения напыления лития на держатель образца. Также установлена система подачи потенциала на подложку и система нагрева подложки в ходе напыления.

Уточненные измерения содержания дейтерия в литиевых пленках при комнатной температуре показали, что предыдущие оценочные данные о содержании дейтерия ($D/Li = 10-20\%$), полученные с помощью более грубых методов определения толщины пленки и с более высоким уровнем примесей в ходе осаждения, оказались верными и согласуются с данными, полученными после обновлений.

ПЕРЕЧЕНЬ ТРУДОВ СОТРУДНИКОВ КАФЕДРЫ И ЛАБ. №377 ЗА 2015 ГОД*

(* - курсивом выделены статьи, опубликованные совместителями)

Международные журналы:

1. S. Krat, Yu Gasparyan, A. Pisarev, I. Bykov, M. Mayer, G. de Saint Aubin, M. Balden, C.P. Lungu, A. Widdowson, JET-EFDA contributors. Erosion at the inner wall of JET during the discharge campaign 2011–2012 in comparison with previous campaigns. *Journal of Nuclear Materials* 456 (2015) 106–110.
2. S. Krat, Yu. 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. *Journal of Nuclear Materials*, 463 (2015) 822–826.
3. Yu.M. Gasparyan, O.V. Ogorodnikova, V.S. Efimov, A. Mednikov, E.D. Marenkov, A.A. Pisarev, S. Markelj, I. Čadež. Thermal desorption from self-damaged tungsten exposed to deuterium atoms. *Journal of Nuclear Materials*, 463 (2015) 1013–1016.
4. M. Lehnen, K. Aleynikova, P. Aleynikov, D. J. Campbell, P. Drewelow, N. Eidietis, Y. Gasparyan, R. Granetz, Y. Gribov, N. Hartmann, E. Hollmann, V. Izzo, S. Jachmich, S.-H. Kim, M. Kočan, H.R. Koslowski, D. Kovalenko, U. Kruezi, A. Loarte, G. F. Matthews, P. Parks, G. Pautasso, R. A. Pitts, C. Reux, V. Riccardo, R. Roccella, J.A. Snipes, A.J. Thornton, P. de Vries and EFDA JET contributors. Disruptions in ITER and strategies for their control and mitigation. *Journal of Nuclear Materials*, 463 (2015) 39–48.
5. 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. *Journal of Nuclear Materials*, 463 (2015) 1045–1048.
6. D.N. Sinelnikov, V.A. Kurnaev, N.V. Mamedov. Prebreakdown Currents from Tungsten Samples Covered with Thin Films (2015) *IEEE Transactions on Plasma Science*, 43 (8), art. no. 7182441, pp. 2299–2302.
7. 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 plasma beam facilities. *Journal of Nuclear Materials* 463, 2015, pp. 228–232
8. P. Dalin, A. Pogoreltsev, N. Pertsev, V. Perminov, N. Shevchuk, A. Dubietis, M. Zalcik, S. Kulikov, A. Zadorozhny, D. Kudabayeva, A. Solodovnik, G. Salakhutdinov, I. Grigoryeva Evidence of the formation of noctilucous clouds due to propagation of an isolated gravity wave caused by a tropospheric occluded front. // *Geophysical Research Letters*. 2015. Volume 42. Issue 6. P. 2037–2046
9. E. Azizov, V. Barsuk, L. Begrambekov, O. Buzhinsky, A. Evsin, A. Gordeev, A. Grunin, N. Klimov, V. Kurnaev, I. Mazul, V. Otroshchenko, A. Putric, Ya. Sadovskiy, P. Shigin, S. Vergazov, A. Zakharov. Boron carbide (B₄C) coating. Deposition and testing // *Journal of Nuclear Materials*, 2015, Vol. 463, pp. 792–795.
10. A. S. Arakcheev, D. I. Skovorodin, A. V. Burdakov, A. A. Shoshin, S. V. Polosatkin, A. A. Vasilyev, Y. Sadovskiy, (2015). Calculation of cracking under pulsed heat loads in tungsten manufactured according to ITER specifications. *Journal of Nuclear Materials*, 467, 165–171. doi:10.1016/j.jnucmat.2015.09.034
11. L. Begrambekov, A. Grunin, A. Zakharov, (2015). Powder modification under influence of heat, electric field and particle irradiation. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 354, 282–286. doi:10.1016/j.nimb.2015.01.072
12. A. E. Evsin, L. B. Begrambekov, A. I. Gumarov, A. S. Kaplevsky, A. G. Luchkin, L. R. Tagirov, I. R. Vakhitov, (2015). Trapping and desorption of hydrogen isotopes under irradiation of zirconium by deuterium atoms of thermal energies. *Vacuum*, doi:10.1016/j.vacuum.2016.01.022
13. J. Guterl, R. D. Smirnov, S. I. Krashenninnikov, B. Uberuaga, A. F. Voter, D. Perez, (2015). Modeling of hydrogen desorption from tungsten surface. *Journal of Nuclear Materials*, 463, 263–267. doi:10.1016/j.jnucmat.2014.12.086
14. J. Guterl, R. D. Smirnov, S. I. Krashenninnikov, M. S. Zibrov, A.A. Pisarev, (2015). Theoretical analysis of deuterium retention in tungsten plasma-facing components induced by various traps via thermal desorption spectroscopy. *Nuclear Fusion*, 55(9) doi:10.1088/0029-5515/55/9/093017
15. R. J. Hajjar, E. M. Hollmann, S. I. Krashenninnikov, R. P. Doerner, (2015). Modeling of aluminum impurity entrainment in the PISCES-A He⁺ plasma. *Journal of Nuclear Materials*, 463, 664–667. doi:10.1016/j.jnucmat.2014.11.040

16. A. V. Kaziev, M. M. Kharkov, G. V. Khodachenko, A. V. Tumarkin, (2015). Features of plasma structure observed in high-current quasi-stationary magnetron discharge. *Surface and Coatings Technology*, doi:10.1016/j.surfcoat.2015.12.074
17. A. V. Kaziev, I. A. Shchelkanov, G. V. Khodachenko, (2015). Preparation of coatings with low roughness by high-current impulse magnetron discharge. Paper presented at the Proceedings of SPIE - the International Society for Optical Engineering, , 9442 doi:10.1117/12.2086913
18. S. I. Krashenninnikov, E. D. Marenkov, (2015). On ablation of large tungsten dust grains in edge plasma of fusion devices. *Journal of Nuclear Materials*, 463, 869-872. doi: 10.1016/j.jnucmat.2014.10.077
19. S. Krat, M. Mayer, C. Porosnicu, (2015). The $9\text{Be}(p,p_0)9\text{Be}$, $9\text{Be}(p,d_0)8\text{Be}$, and $9\text{Be}(p,\alpha_0)6\text{Li}$ cross-sections for analytical purposes. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 358, 72-81. doi:10.1016/j.nimb.2015.05.004
20. W. Lee, J. R. Angus, M. V. Umansky, S. I. Krashenninnikov, (2015). Electromagnetic effects on plasma blob-filament transport. *Journal of Nuclear Materials*, 463, 765-768. doi:10.1016/j.jnucmat.2014.09.083
21. E. Marenkov, A. Eksaeva, D. Borodin, A. Kirschner, M. Laengner, V. Kurnaev, M. Rasinski, (2015). Modeling of tungsten transport in the linear plasma device PSI-2 with the 3D monte-carlo code ERO. *Journal of Nuclear Materials*, 463, 268-271. doi:10.1016/j.jnucmat.2014.10.041
22. G. Martínez, A. Martin, C. Watts, E. Veshchev, R. Reichle, P. Shigin, J. González, (2015). Diagnostic integration solutions in the ITER first wall. *Fusion Engineering and Design*, 98-99, 1548-1551. doi:10.1016/j.fusengdes.2015.06.046
23. O. V. Ogorodnikova, (2015). Fundamental aspects of deuterium retention in tungsten at high flux plasma exposure. *Journal of Applied Physics*, 118(7) doi:10.1063/1.4928407
24. O. V. Ogorodnikova, V. Gann, (2015). Simulation of neutron-induced damage in tungsten by irradiation with energetic self-ions. *Journal of Nuclear Materials*, 460, 60-71. doi:10.1016/j.jnucmat.2015.02.004
25. A. Y. Pigarov, S. I. Krashenninnikov, T. D. Rognlien, C. J. Lasnier, E. Unterberg, (2015). Dynamic plasma-wall modeling of ELMy H-mode with UEDGE-MB-W. *Journal of Nuclear Materials*, 463, 705-708. doi:10.1016/j.jnucmat.2014.09.066
26. R. D. Smirnov, S. I. Krashenninnikov, J. Guterl, (2015). Atomistic modeling of growth and coalescence of helium nano-bubbles in tungsten. *Journal of Nuclear Materials*, 463, 359-362. doi:10.1016/j.jnucmat.2014.10.033
27. M. M. Tsventoukh, G. V. Krashevskaya, A. S. Prishvitsyn, (2015). Plasma confinement by magnetic field with convex-concave field lines. *Nuclear Fusion*, 55(6) doi:10.1088/0029-5515/55/6/062001
28. A. V. Tumarkin, A. V. Kaziev, M. M. Kharkov, D. V. Kolodko, I. V. Ilychev, G. V. Khodachenko, (2015). High-current impulse magnetron discharge with liquid target. *Surface and Coatings Technology*, doi:10.1016/j.surfcoat.2015.12.070
29. V. M. Zhdanov, V. I. Roldugin, M. G. Shalygin, (2015). Effect of the orientation of a bilayer catalytic membrane on the effective conversion. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 49(1), 10-20. doi:10.1134/S004057951406013X.
30. Y. Akishev, F. Arefi-Khonsari, A. Demir, M. Grushin, V. Karalnik, A. Petryakov, N. Trushkin, (2015). *The interaction of positive streamers with bubbles floating on a liquid surface. Plasma Sources Science and Technology*, 24(6) doi:10.1088/0963-0252/24/6/065021
31. Y. Akishev, A. Balakirev, M. Grushin, V. Karalnik, I. Kochetov, A. Napartovich, N. Trushkin, (2015). Long plasma jet generated by DC discharge in N_2 at atmospheric pressure: Impact of trace admixtures on composition of reactive species in far afterglow. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 43(3), 745-752. doi:10.1109/TPS.2014.2383618
32. V. A. Astapenko, V. S. Lisitsa, (2015). On the theory of hydrogen atom ionization by ultra-short electromagnetic pulses. *Contributions to Plasma Physics*, 55(7), 522-528. doi:10.1002/ctpp.201500007
33. V. P. Budaev, Y. V. Martynenko, A. V. Karpov, N. E. Belova, A. M. Zhitlukhin, N. S. Klimov, L. N. Khimchenko, (2015). Tungsten recrystallization and cracking under ITER-relevant heat loads. *Journal of Nuclear Materials*, 463, 237-240. doi:10.1016/j.jnucmat.2014.11.129
34. A. V. Demura, M. B. Kadomtsev, V. S. Lisitsa, V. A. Shurygin, (2015). Statistical model of electron impact ionization of multielectron ions. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, 48(5) doi:10.1088/0953-4075/48/5/055701

35. A. V. Demura, M. B. Kadomtsev, V. S. Lisitsa, V. A. Shurygin, (2015). Universal statistical approach to radiative and collisional processes with multielectron ions in plasmas. *High Energy Density Physics*, 15, 49-58. doi:10.1016/j.hedp.2015.03.006
36. A. Y. Dnestrovskij, B. V. Kuteev, A. S. Bykov, A. A. Ivanov, V. E. Lukash, S. Y. Medvedev, R. R. Khayrutdinov, (2015). Integrated modelling of DEMO-FNS current ramp-up scenario and steady-state regime. *Nuclear Fusion*, 55(6) doi:10.1088/0029-5515/55/6/063007
37. L. G. Eliseev, N. V. Ivanov, A. M. Kakurin, A. V. Melnikov, S. V. Perfilov, (2015). Magnetic island and plasma rotation under external resonant magnetic perturbation in the T-10 tokamak. *Physics of Plasmas*, 22(5) doi:10.1063/1.4921646
38. A. Y. Faenov, J. Colgan, S. B. Hansen, A. Zhidkov, S. A. Pikuz, et al. (2015). Nonlinear increase of X-ray intensities from thin foils irradiated with a 200 TW femtosecond laser. *Scientific Reports*, 5 doi:10.1038/srep13436
39. A. Y. Faenov, I. Y. Skobelev, T. A. Pikuz, S. A. Pikuz, R. Kodama, V.E. Fortov, (2015). Diagnostics of warm dense matter by high-resolution X-ray spectroscopy of hollow ions. *Laser and Particle Beams*, 33(1), 27-39. doi:10.1017/S0263034614000743
40. Y. Gribov, A. Kavin, V. Lukash, R. Khayrutdinov, G.T.A. Huijsmans, A. Loarte, L. Zabeo, (2015). Plasma vertical stabilisation in ITER. *Nuclear Fusion*, 55(7) doi:10.1088/0029-5515/55/7/073021
41. M. Gryaznevich, G. Van Oost, J. Stöckel, R. Kamendje, B. N. Kuteev, A. Melnikov, V. Svoboda, (2015). Contribution to fusion research from IAEA coordinated research projects and joint experiments. *Nuclear Fusion*, 55(10) doi:10.1088/0029-5515/55/10/104019
42. C. Gutiérrez-Tapia, J. J. Martinell, D. López-Bruna, A. V. Melnikov, L. Eliseev, C. Rodríguez, J. M. Fontdecaba, (2015). Analysis of TJ-II experimental data with neoclassical formulations of the radial electric field. *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 57(11) doi:10.1088/0741-3335/57/11/115004
43. S. V. Gvozdev, A. F. Glova, V. Y. Dubrovskii, S. T. Durmanov, A. G. Krasnyukov, A. Y. Lysikov, V. M. Pleshkov, (2015). Propagation of intense laser radiation through a diffusion flame of burning oil. *Quantum Electronics*, 45(6), 582-584. doi:10.1070/QE2015v045n06ABEH015516
44. N. A. Kirneva, R. Behn, G. P. Canal, S. Coda, B. P. Duval, T. P. Goodman, V. Vuille, (2015). High density experiments in TCV ohmically heated and L-mode plasmas. *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 57(2) doi:10.1088/0741-3335/57/2/025002
45. N. S. Klimov, A. B. Putrik, J. Linke, R. A. Pitts, A. M. Zhitlukhin, I. B. Kuprianov, R. N. Giniyatulin, (2015). Plasma facing materials performance under ITER-relevant mitigated disruption photonic heat loads. *Journal of Nuclear Materials*, 463, 61-65. doi: 10.1016/j.jnucmat.2014.11.098
46. G. S. Kurskiev, P. A. Sdvizhenskii, M. Bassan, P. Andrew, A.B. Kukushkin, A.S. Kukushkin, et al. (2015). A study of core thomson scattering measurements in ITER using a multi-laser approach. *Nuclear Fusion*, 55(5) doi:10.1088/0029-5515/55/5/053024
47. I. Lyublinski, A. Vertkov, S. Mirnov, V. Lazarev, (2015). Protection of tokamak plasma facing components by a capillary porous system with lithium. *Journal of Nuclear Materials*, 463, 1156-1159. doi:10.1016/j.jnucmat.2014.12.017
48. G. Mazzitelli, Y. Hirooka, J. S. Hu, S. V. Mirnov, R. Nygren, M. Shimada, F. L. Tabares, (2015). Conference report on the 3rd international symposium on lithium application for fusion devices. *Nuclear Fusion*, 55(2) doi:10.1088/0029-5515/55/2/027001
49. S. Y. Medvedev, M. Kikuchi, L. Villard, T. Takizuka, P. Diamond, H. Zushi, O. Sauter, (2015). The negative triangularity tokamak: Stability limits and prospects as a fusion energy system. *Nuclear Fusion*, 55(6) doi:10.1088/0029-5515/55/6/063013
50. A. V. Melnikov, J. M. Barcala, L. I. Krupnik, C. Hidalgo, L. G. Eliseev, A. A. Chmyga, Y. I. Tashev, (2015). Control and data acquisition for dual HIBP diagnostics in the TJ-II stellarator. *Fusion Engineering and Design*, 96-97, 724-728. doi:10.1016/j.fusengdes.2015.01.015
51. A. V. Melnikov, L. G. Eliseev, S. V. Perfilov, S. E. Lysenko, R. V. Shurygin, V. N. Zenin, M. V. Ufimtsev, (2015). The features of the global GAM in OH and ECRH plasmas in the T-10 tokamak. *Nuclear Fusion*, 55(6) doi:10.1088/0029-5515/55/6/063001
52. A. V. Melnikov, T. Markovic, L. G. Eliseev, J. Adamek, M. Aftanas, P. Bilkova, V. Weinzettl, (2015). Quasicoherent modes on the COMPASS tokamak. *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 57(6) doi:10.1088/0741-3335/57/6/065006

53. A. V. Melnikov, A. V. Sushkov, A. M. Belov, Y. N. Dnestrovskij, L. G. Eliseev, A. V. Gorshkov, V. L. Vdovin, (2015). Physical program and diagnostics of the T-15 upgrade tokamak (brief overview). *Fusion Engineering and Design*, 96-97, 306-310. doi:10.1016/j.fusengdes.2015.06.080
54. S. V. Mirnov, A. M. Belov, N. T. Djigailo, A. S. Dzhurik, S. I. Kravchuk, V. B. Lazarev, A. N. Shcherbak, (2015). Experimental test of the system of vertical and longitudinal lithium limiters on T-11M tokamak as a prototype of plasma facing components of a steady-state fusion neutron source. *Nuclear Fusion*, 55(12) doi:10.1088/0029-5515/55/12/123015
55. V. S. Neverov, P. A. Borisova, A. B. Kukushkin, V. V. Voloshinov, (2015). A method for diffraction-based identification of amorphous sp² carbon materials. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 427, 166-174. doi:10.1016/j.jnoncrysol.2015.07.025
56. M. Nishiuchi, H. Sakaki, T. Z. Esirkepov, K. Nishio, I.Yu. Skobelev, et al. (2015). Acceleration of highly charged GeV Fe ions from a low-Z substrate by intense femtosecond laser. *Physics of Plasmas*, 22(3) doi:10.1063/1.4913434
57. E. Oks, Dalimier, A. Faenov, T. Pikuz, Y. Fukuda, Igor Skobelev, Sergei Pikuz, et al. (2015). Revealing the second harmonic generation in a femtosecond laser-driven cluster-based plasma by analyzing shapes of Ar XVII spectral lines. *Optics Express*, 23(25), 31991-32005. doi:10.1364/OE.23.031991
58. V. D. Pustovitov, (2015). Energy principle for the modes interacting with a resistive wall in toroidal systems. *Nuclear Fusion*, 55(3) doi:10.1088/0029-5515/55/3/033008
59. V. D. Pustovitov, (2015). General approach to the problem of disruption forces in tokamaks. *Nuclear Fusion*, 55(11) doi:10.1088/0029-5515/55/11/113032
60. V. D. Pustovitov, V. V. Yanovskiy, (2015). Rotational stabilization of the resistive wall modes in tokamaks with a ferritic wall. *Physics of Plasmas*, 22(3) doi:10.1063/1.4915129
61. F. B. Rosmej, V. A. Astapenko, V. S. Lisitsa, (2015). Generalized scaling laws for ionization of atomic states by ultra-short electromagnetic pulses. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, 49(2) doi:10.1088/0953-4075/49/2/025602
62. V. E. Semenov, E. I. Rakova, V. P. Tarakanov, M. Y. Glyavin, G. S. Nusinovich, (2015). A one-dimensional study of the evolution of the microwave breakdown in air. *Physics of Plasmas*, 22(9) doi:10.1063/1.4930263
63. V. Y. Sergeev, B. V. Kuteev, A. S. Bykov, A. A. Gervash, D. A. Glazunov, P. R. Goncharov, A. V. Spitsyn, (2015). Conceptual design of divertor and first wall for DEMO-FNS. *Nuclear Fusion*, 55(12) doi:10.1088/0029-5515/55/12/123013
64. V. P. Tarakanov, E. G. Shustin, (2015). Charging effects of plasma impact on microconductor structures on an insulator in plasma processing technologies. *Vacuum*, 113, 59-63. doi:10.1016/j.vacuum.2014.12.014
65. V. P. Tarakanov, E. G. Shustin, (2015). Corrigendum to "charging effects of plasma impact on microconductor structures on an insulator in plasma processing technologies" [*vacuum*, 113, (2015), 59-63]. *Vacuum*, 119, 289. doi:10.1016/j.vacuum.2015.02.028
66. V. A. Vershkov, D. A. Shelukhin, G. F. Subbotin, Y. N. Dnestrovskij, A. V. Danilov, A. V. Melnikov, S. V. Cherkasov, (2015). Density fluctuations as an intrinsic mechanism of pressure profile formation. *Nuclear Fusion*, 55(6) doi:10.1088/0029-5515/55/6/063014
67. D. V. Mironov, V. D. Pustovitov, (2015). Analytical model of wall forces produced by kink perturbations in tokamaks. *Physics of Plasmas*, 22(5) doi:10.1063/1.4921660.
68. A. V. Demura, M. B. Kadomtsev, V. S. Lisitsa, V. A. Shurygin, (2015). Electron impact ionization of tungsten ions in a statistical model. *JETP Letters*, 101(2), 85-88. doi:10.1134/S0021364015020058
69. A.R. Polevoi, A. Loarte, N. Hayashi, A.S. Kukushkin, S.Yu. Medvedev et al., (2015). Assessment of operational space for long-pulse scenarios in ITER. *Nuclear Fusion*, 55(6) doi:10.1088/0029-5515/55/6/063019
70. D. P. Higginson, P. Korneev, J. Béard, S. Pikuz, et al., (2015). A novel platform to study magnetized high-velocity collisionless shocks. *High Energy Density Physics*, 17, 190-197. doi:10.1016/j.hedp.2014.11.007
71. S. Coda, R. Albanese, S. Alberti, N. Kirneva, et al. (2015). The science program of the TCV tokamak: Exploring fusion reactor and power plant concepts. *Nuclear Fusion*, 55(10) doi:10.1088/0029-5515/55/10/104004
72. V.A. Kurnaev, Yu.M. Gasparyan. Preface. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Page 1.
73. V.A. Kurnaev. Research on plasma interaction with materials for thermonuclear reactors in the Russian Federation. *Physics Procedia* Volume 71, 2015, Pages 2-8.
74. Yu.V. Martynenko. Metal erosion under plasma flow typical for ITER transient regimes. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 9-13.

75. A.A. Pshenov, A.A. Eksaeva, S.I. Krashenninnikov, E.D. Marenkov. Vapour shielding of solid targets exposed to high heat flux. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 14-19.
76. Trufanov, D., Marenkov, E., Krashenninnikov, S. The role of the adatom diffusion in the tungsten fuzz growth. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages. 20-24.
77. I.E. Borodkina, I.V. Tsvetkov. Modelling of charged particle dynamics in the sheath and plasma-facing surface sputtering. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages. 25-29.
78. N. Degtyarenko, A. Pisarev. Ab-initio simulation of hydrogen atom interaction with tungsten. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages. 30-34.
79. D. Trufanov, V. Kurnaev, O. Vaisberg, A. Shestakov. The simulation of the neutral particle converter work of the ARIES-L device. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages. 35-40.
80. O.V. Ogorodnikova, V.V. Gann, M.S. Zibrov, Yu.M. Gasparyan. Comparison of Deuterium Retention in Tungsten Pre-damaged with Energetic Electrons, Self-ions and Neutrons. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 41-46.
81. M.Yu. Zharkov, A.V. Vertkov, I.E. Lyublinski, S.V. Mirnov, V.B. Lazarev, A.N. Szherbak. *Development of Lithium CPS Based Limiters for Realization of a Concept of Closed Lithium Circulation Loop in Tokamak.* *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 47-51.
82. A. Evsin, A. Zakharov, Ya. Sadovskiy. Deuterium trapping into zirconium with the oxidized surface layer under irradiation by deuterium atoms with thermal energies. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 52-57.
83. A. Airapetov, V. Terentiev, A. Voituk, A. Zakharov. Methods for boron-carbon deposited film removal. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 58-62.
84. K. Gutorov, I. Vizgalov, F. Podolyako, I. Sorokin. Film deposition and their removal in gaps and regions shaded from the plasma in the presence of RF fields. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 68-72.
85. D. Sinelnikov, V. Kurnaev, D. Kolodko, N. Solovev. Modification of nanostructured tungsten surface by ion beam irradiation. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 73-77.
86. N.P. Bobyr, V.Kh. Alimov, V.S. Efimov, B.I. Khripunov, Yu.M. Gasparyan, A.V. Spitsyn, A.V. Golubeva. TDS investigation of the influence of helium on hydrogen isotope exchange in tungsten at sequential exposures to deuterium and helium-protium plasmas. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 78-82.
87. M. Zibrov, Yu. Gasparyan, S. Ryabtsev, A. Pisarev. Isolation of peaks in TDS spectra of deuterium from ion irradiated tungsten. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 83-87.
88. A.S. Popkov, S.A. Krat, Yu.M. Gasparyan, A.A. Pisarev. Interaction of Li-D films with water vapor. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 88-92.
89. A. Airapetov, O. Dvoichenkova. Surface processes and hydrogen transport through the stainless steel surface under atom and ion irradiation. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 93-98.
90. A. Zakharov, S. Begrambekova, A. Grunin. Plasma influence on tungsten powder. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 99-104.
91. Yu.V. Borisyuk, N.M. Oreshnikova, M.A. Berdnikova, A.V. Tumarkin, G.V. Khodachenko, A.A. Pisarev. Plasma nitriding of titanium alloy Ti5Al4V2Mo. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 105-109.
92. V. M. Zhdanov, A. A. Stepanenko. Electron transport coefficients in molecular and atomic plasmas with account for inelastic collisions. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 110-115.
93. I. Sorokin, I. Vizgalov, K. Gutorov, F. Podolyako. Concerning feasibility of water microleakage diagnostics by auto-oscillating discharge. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 116-120.
94. E. Meshcheryakova, M. Zibrov, A. Kaziev, G. Khodachenko, A. Pisarev. Langmuir probe diagnostics of low-pressure inductively coupled argon plasmas in a magnetic field. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 121-126.
95. V. Popov, K. Gutorov, I. Sorokin. Investigation of magnetic field topology in auto-oscillating discharge. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 127-132.
96. S.A. Sarantsev, Ya.M. Dvoyeglazov, I.F. Raevskiy. WITHDRAWN: Impact of discharge current rate of high-current low-inductance vacuum spark on submicron size structure in electrode surface area magnetized plasmas. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 133-137.
97. O.B. Ananin, O.A. Bashutin, G.S. Bogdanov, E.D. Vovchenko, I.A. Gerasimov, Ya.M. Dvoyeglazov, A.P. Melekhov, A.S. Savjolov*, I.F. Raevsky, E.D. Filippov. Interferometric system for the visualization of high-speed processes in laser plasma. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 142 – 145.

98. A.V.Balovnev, E.D. Vovchenko, I.G. Grigoryeva, E.I. Dodulad, A.S. Savelov, G.H. Salahutdinov. X-ray and ion emission sources in high-current discharge plasma. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 150-154.
99. Kolodko, D.V., Mamedov, N.V., Sinelnikov, D.N., Khodachenko, G.V., Kaziev, A.V., Tumarkin, A.V., Pisarev, A.A. Source of metal ions based on Penning discharge. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 150-154.
- 100.E.I. Dodulad, V.A. Kostyushin, A.S. Savjолоv. Determination of density of plasma emitted by a high-current low-inductance vacuum spark discharge using a combined method for corpuscular diagnostics. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 155-159.
- 101.S.A. Sarantsev, Ya.M. Dvoyeglazov, I.F. Raevskiy. Impact of discharge current rate of high-current low-inductance vacuum spark on submicron size structure in electrode surface area. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 160-164.
- 102.S.A.Sarantsev. Formation model of cathode surface structure in contact with plasma flows of high-current low-inductance vacuum spark. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 165-170.
- 103.D. Kirko. Wave processes in discharge plasma in electrolyte with magnetic field. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 171-175.
- 104.K. Kozlovskij, E. Vovchenko, A. Isaev. Neutron generation in a vacuum diode with laser-plasma source of deuterons. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 176-180.
- 105.M.A. Alkhimova, O.B. Ananin, G.S. Bogdanov, E.D. Vovchenko, I.A. Gerasimov, P.S. Krapiva, A. P Melekhov, I.K. Novikov, R.S. Ramakoti. The source of soft X-ray based on low-energy vacuum spark. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 181-186.
- 106.A.E. Shikanov, B.Y. Bogdanovich, K.I. Kozlovskiy, A.V. Nesterovich, V.L. Shatokhin, E.D. Vovchenko. Deuterons extraction from vacuum-arc plasma. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 187-191.
- 107.I. Sorokin, I. Vizgalov, O. Bidlevich. In-situ mass-spectrometry of magnetized plasmas. *Physics Procedia*, Volume 71, 2015, Pages 428-432.
- 108.O. B. Ananyin, G. S. Bogdanov, E. D. Vovchenko, I. A. Gerasimov, A. P. Melekhov, I. K. Novikov, (2015). The influence of laser plasma on spatial-time distribution of high-power laser radiation intensity. Paper presented at the *Physics Procedia*, 73 74-77. doi:10.1016/j.phpro.2015.09.136
- 109.A. V. Melnikov, L. G. Eliseev, S. E. Lysenko, S. V. Perfilov, D. A. Shelukhin, V. A. Vershkov, N. K. Kharchev, (2015). Correlation properties of geodesic acoustic modes in the T-10 tokamak. *Journal of Physics: Conference Series*, 591(1) doi:10.1088/1742-6596/591/1/012003
- 110.E. O. Baronova, E. D. Vovchenko, A. N. Maiorov, V. Y. Nikulin, P. V. Silin, A. M. Stepanenko, V. V. Vikhrev, (2015). Dynamics of axial plasma jets in neon and argon plasma focus discharges. *Journal of Physics: Conference Series*, 653(1) doi:10.1088/1742-6596/653/1/012160
- 111.I. Y. Skobelev, P. A. Loboda, A. Y. Faenov, S. V. Gagarin, A. I. Kozlov, S. V. Morozov, V. V. Popova, (2015). Spectr-W3 online database on atomic properties of multicharged ions. *Journal of Physics: Conference Series*, 653(1) doi:10.1088/1742-6596/653/1/012022
- 112.P. V. Minashin, A. B. Kukushkin, (2015). Spectroscopic diagnostics of superthermal electrons with high-number harmonic EC radiation in tokamak reactor plasmas. Paper presented at the *EPJ Web of Conferences*, , 87 doi:10.1051/epjconf/20158703009
- 113.P. V. Minashin, A. B. Kukushkin, R. R. Khayrutdinov, V. E. Lukash, (2015). A model of multi-pass absorption of external EC radiation at initial stage of discharge in ITER. Paper presented at the *EPJ Web of Conferences*, , 87 doi:10.1051/epjconf/20158703005
- 114.M. A. Alkhimova, E. D. Vovchenko, A. P. Melekhov, R. S. Ramakoti, A. S. Savelov, P. S. Krapiva, I. N. Moskalenko, (2015). The source of X-rays and high-charged ions based on moderate power vacuum discharge with laser triggering. *Nukleonika*, 60(2), 221-227. doi:10.1515/nuka-2015-0060
- 115.G. P. Karwasz, R. S. Brusa, W. Egger, O. V. Ogorodnikova, (2015). Toward a european network of positron laboratories. *Nukleonika*, 60(4), 733-739. doi:10.1515/nuka-2015-0132
- 116.A. V. Melnikov, L. G. Eliseev, S. E. Lysenko, S. V. Perfilov, V. N. Zenin, L. I. Krupnik, J. L. De Pablos, (2015). Heavy ion beam probing - the diagnostics for internal measurements of the electric potential and turbulence in toroidal plasma devices. *Proceedings of Science, ECPD-1, 2015*
- 117.M. A. Alkhimova, A. P. Melekhov, G. S. Bogdanov, E. D. Vovchenko, O. B. Ananin, (2015). Investigation of emission of multiple-charged ion flows from plasma of the laser-induced vacuum discharge. *Proceedings of Science, ECPD-1, 2015*

118. V. I. Karas, E. A. Kornilov, O. V. Manuilenko, V. P. Tarakanov, O. V. Fedorovskaya, (2015). Dynamics of the high-current ion beam in a section of the linear induction accelerator. *Problems of Atomic Science and Technology*, 100(6), 52-55.
119. V. I. Karas', E. A. Kornilov, O. V. Manuilenko, V. P. Tarakanov, O. V. Fedorovskaya, (2015). Transport and acceleration of the high-current ion beam in magneto-isolated gap. *Problems of Atomic Science and Technology*, 98(4), 129-134.

Отечественные журналы:

1. М.С. Зибров, А.С. Шубина, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев. О возможности определения энергии связи водорода с дефектами по термодесорбционным измерениям с различными скоростями нагрева. ВАНТ. Серия «Термоядерный синтез». 2015, т. 38, вып. 1, с.32-41. (Zibrov, M. S., Shubina, A. S., Gasparyan, Y. M., Pisarev, A. A. (2015). On the possibility of determination of the hydrogen binding energies with defects from thermal desorption measurements with different heating rates. *Problems of Atomic Science and Technology, Series Thermonuclear Fusion*, 38(1), 32-41.)
2. Н.П. Бобырь, А.В. Голубева, Д.И. Черкез, В.С. Ефимов, А.В. Спицын, Ю.М. Гаспарян. Влияние температуры на накопление дейтерия в низкоактивируемой стали ЭК-181 (Русфер) при облучении дейтериевой плазмой, ВАНТ, серия Термоядерный синтез, т. 38, вып. 2, 2015.
3. О.А. Башутин, А.С. Савелов. Спектрополяриметрические исследования пучков нетепловых электронов // Письма в ЖТФ, 2015, т.41, вып.2, с.1. (O. A. Bashutin, A. S. Savjolov, (2015). Spectropolarimetric investigations of nonthermal electron beams in vacuum spark discharge. *Technical Physics Letters*, 41(1), 54-56.)
4. О.А. Башутин. Система визуализации рентгеновского излучения в режиме реального времени // ПТЭ, 2015, №2, с.106.
5. Д.Л. Кирко. Колебательные процессы в плазме разряда в электролите в магнитном поле. Журнал Технической Физики. 2015, Т. 85, Вып. 4, с. 28-31. (D.L. Kirko. Oscillatory processes in the plasma of the discharge in electrolyte in a magnetic field. *Technical Physics*. 2015, Vol. 60, No. 4, pp. 505-509)
6. Д.Л. Кирко, А.С. Савелов. Характеристики капиллярного разряда при добавлении в плазму атомов металлов. Теплофизика Высоких Температур. 2015, Т. 53, № 6, с. 953-956. (D.L. Kirko, A.S. Savjolov. Characteristics of capillary discharge upon adding metal atoms to plasma. *High Temperature*, 2015, Vol. 53, No. 6, pp. 921-923)
7. А.В. Баловнев, И. В. Визгалов, Г.Х. Салахутдинов. Диагностика аномальной электрон-электронной эмиссии в автоколебательном режиме пучково-плазменного разряда при помощи метода фильтров и термолюминесцентных детекторов. // Прикладная физика №1, 2015, С. 40-43.
8. А.В. Баловнев, И.Г. Григорьева, Г.Х. Салахутдинов. Координатно-чувствительный спектрометр импульсного рентгеновского излучения для исследования пространственной структуры плазменных объектов. // Приборы и техника эксперимента №6, 2015 С. 67-70. (A.V. Balovnev, I.G. Grigoryeva, G.Kh. Salakhutdinov. A Position -Sensitive Pulse X-ray Spectrometer for Studying Spatial Structures of Plasma Objects // *Instruments and Experimental Techniques*, 2015, Vol. 58, No. 6, pp. 771-773.)
9. А.В. Баловнев, И.Г. Григорьева, Г.Х. Салахутдинов. Применение термолюминесцентных детекторов для диагностики плазменных объектов. // Приборы и техника эксперимента. 2015. № 1. С. 100-103. (A.V. Balovnev, I.G. Grigoryeva, G.H. Salahutdinov. Application of Thermoluminescent Detectors for Diagnosing Plasma Objects. *Instruments and Experimental Techniques*, 2015, Vol. 58, No. 1, pp. 98-101.)
10. А.В. Баловнев, И.Г. Григорьева, Г.Х. Салахутдинов. Спектрометрия импульсного рентгеновского излучения плазмы сильнотоочного электрического разряда. // Приборы и техника эксперимента. 2015. № 2. С. 89-94. (A.V. Balovnev, I.G. Grigoryeva, G.H. Salahutdinov. Spectrometry of Impulse High-Current Discharge-Plasma X Rays. // *Instruments and Experimental Techniques*, 2015, Vol. 58, No. 2, pp. 252-256.)
11. И. Е. Бородкина, М. Комм, И.В. Цветков // Известия Вузов. Физика № 4, т. 58, 2015, стр. 9-15. (I. E. Borodkina, M. Komm, I. V. Tsvetkov // *Russian Physics Journal*, Vol. 58, No. 4, August, 2015 DOI 10.1007/s11182-015-0518-5)
12. И. А. Сорокин, И. В. Визгалов, К. М. Гуторов, Ф. С. Подольяко. О возможности диагностики микротечей воды с помощью автоколебательного разряда. Ядерная физика и инжиниринг, 2015, том 6, № 1-2, с. 73-77

13. А. В. Баловнев, И. В. Визгалов, Г. Х. Салахутдинов. Диагностика аномальной электрон-электронной эмиссии в автоколебательном режиме пучково-плазменного разряда при помощи метода фильтров и термолюминесцентных детекторов. Прикладная физика, 2015. №1, с.40-43
14. Салахутдинов Г. Х., Ефанов Д. В. Нелинейные эффекты в сцинтилляционных детекторах. // Приборы и техника эксперимент. 2015. № 3. с. 43-47. (G. Kh. Salakhutdinov, D. V. Efanov. Nonlinear Effects in Scintillation Detectors. // Instruments and Experimental Techniques, 2015, Vol. 58, No. 3, pp. 345–349.)
15. О.И. Бужинский, В.А. Барсук, Л.Б. Беграмбеков, Н.С. Климов, В.Г. Отрощенко, А.Б. Путрик. Испытание защитного покрытия В₄С при облучении интенсивными потоками плазмы на установке КСПУ-Т, ВАНТ. Серия «Термоядерный синтез», 2015, т. 38, вып. 2, с.32-38. (O.I. Buzhinskij, V.A. Barsuk, L.B. Begrambekov, N.S. Klimov, V.G. Otroshchenko, A.B. Putric, (2015). B₄C protective coating under irradiation by QSPA-T intensive plasma fluxes. Problems of Atomic Science and Technology, Series Thermonuclear Fusion, 38(2), 32-38.)
16. Н.В. Мамедов, В.А. Курнаев, Д.Н. Синельников, Д.В. Колодко. Автоматизация ионно-пучковой установки для реализации различных программ облучения. Приборы и техника эксперимента. 2015. № 1, с. 51-56. (N.V. Mamedov, V.A. Kurnaev, D.N. Sinelnikov, D.V. Kolodko. Automation of the ion-beam setup for implementing different irradiation programs (2015) Instruments and Experimental Techniques, 58 (1), pp. 43-48)
17. А.Е. Шиканов, Е.Д. Вовченко, К.И. Козловский, В.Л. Шатохин. Диод для ускорения нуклидов водорода с подавлением электронной проводимости внутренним кольцевым магнитом. Письма в ЖТФ, 2015, т. 41, №10, с. 104-110. (A. E. Shikanov, E. D. Vovchenko, K. I. Kozlovskii, V. L. Shatokhin, (2015). A diode for accelerating hydrogen nuclides with electron conductivity suppressed by an internal ring magnet. Technical Physics Letters, 41(5), 511-513)
18. А.Е. Шиканов, Е.Д. Вовченко, К.И. Козловский, В.Л. Шатохин. Малогабаритный плазменный диод с прозрачным внутренним катодом для генерации нейтронов. Журнал технической физики, 2015, т. 85 №1, с.47-51. (A. E. Shikanov, E. D. Vovchenko, K. I. Kozlovskii, V. L. Shatokhin, (2015). Small-size plasma diode with a transparent internal cathode for neutron generation. Technical Physics, 60(1), 48-52)
19. В.И. Ролдугин, В.М. Жданов, Т.В. Харитонов. Производство энтропии на поверхности сорбирующих сред. Коллоидный журнал, 2015, т. 77, №4, с. 519-525. (V. I. Roldughin, V. M. Zhdanov, T. V. Kharitonova, (2015). Entropy production on sorbing medium surfaces. Colloid Journal, 77(4), 500-506)
20. Ю.А. Лебедев, Г.В. Крашевская, М.А. Гоголева. Пространственное распределение параметров электронной компоненты азотной плазмы электродного микроволнового разряда при пониженных давлениях. Прикладная физика, т. 2015, №1, с. 30-34. (Y. A. Lebedev, G. V. Krashevskaya, M. A. Gogoleva, (2015). Spatial distribution of the electron component parameters in nitrogen plasma of a microwave electrode discharge at reduced pressure. Applied Physics, (1), 30-34)
21. Д.Л. Кирко. Люминесценция жидкого азота после импульсного воздействия ультрафиолетового излучения. Физика низких температур, 2015, т. 41, №4, с. 393-398. (D. L. Kirko, (2015). Luminescence of liquid nitrogen after exposure to pulsed UV radiation. Low Temperature Physics, 41(4))
22. К.М. Гуторов, И.В. Визгалов, И.А. Сорокин, Ф.С. Подоляко. Вольт-амперная характеристика контакта плазмы с электродом с тонкой диэлектрической пленкой на поверхности. Письма в ЖЭТФ, 2015, т. 100, №11, с. 807-810. (K. M. Gutorov, I. V. Vizgalov, I. A. Sorokin, F. S. Podolyako, (2015). Current-voltage characteristic of the contact of plasma with an electrode with a thin dielectric film on the surface. JETP Letters, 100(11), 708-711)
23. И.А. Сорокин, И.В. Визгалов, К.М. Гуторов, Ф.С. Подоляко. Влияние паров воды на ионный состав водородной плазмы пучково-плазменного разряда. Краткие сообщения по физике, 2015, т. 42, №12, с. 28-35. (I. A. Sorokin, I. V. Vizgalov, K. M. Gutorov, F. S. Podolyako Effect of Water Vapor on the Ionic Composition of the Hydrogen Beam-Plasma Discharge. Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 2015, Vol. 42, No. 12, pp. 350–355)
24. Л.Б. Беграмбеков, А.В. Грунин, А.С. Каплевский, Я.А. Садовский, С.В. Вергазов, П.А. Шигин. Газообменные процессы, инициируемые неупругими столкновениями частиц водородной плазмы с поверхностью нержавеющей стали. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2015, №2, с. 87-92 (L. B. Begrambekov, A. V. Grunin, A. S. Kaplevsky, Y. A. Sadovskiy, S. V. Vergasov, P. A. Shigin, (2015). Gas exchange processes initiated by the inelastic collisions of hydrogen plasma particles with a stainless-steel surface. Journal of Surface Investigation, 9(1), 190-195)

25. Д.Н. Синельников, В.А. Курнаев, Н.В. Мамедов. Сравнительное исследование токов низкополевой эмиссии с поверхности материалов термоядерных установок. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2015, №12, с. 78-83. (D.N. Sinelnikov, V.A. Kurnaev, N.V. Mamedov, Comparative study of low-field emission currents from the surface of materials used in thermonuclear facilities (2015) Journal of Surface Investigation, 9 (6), pp. 1281-1286)
26. В.В. Кондаков, В.А. Курнаев. О новых правилах присуждения учёных степеней. Вестник российской академии наук (2015) 85, №7 с.598-604
27. Д.Х. Морозов, А.А. Пшенков. Радиационно-конденсационная неустойчивость в токамаках с комбинированными примесями. Физика плазмы, 2015, т. 41, №8, с.651-659. (D. K. Morozov, A. A. Pshenkov, (2015). Radiation–condensation instability in tokamaks with mixed impurities. Plasma Physics Reports, 41(8), 599-606)
28. П.С. Стрелков, В.П. Тараканов, И.Е. Иванов, Д.В. Шумейко. Динамика сильнотоочного релятивистского электронного пучка. Физика плазмы, 2015, т. 41, №6, с 533-541. (P. S. Strelkov, V. P. Tarakanov, I. E. Ivanov, D. V. Shumeiko, (2015). Dynamics of a high-current relativistic electron beam. Plasma Physics Reports, 41(6), 492-500)
29. В. Х. Алимов, А. В. Спицын, Н. П. Бобырь. Накопление дейтерия в вольфраме при облучении дейтериевой плазмой с примесью гелия. ВАНТ. Серия «Термоядерный синтез». 2015, т. 38, вып. 3, с.83-95. (V. K. Alimov, A. V. Spitsyn, N. P. Bobyr, (2015). Deuterium retention in tungsten exposed to helium-seeded deuterium plasma. Review of recent experimental results. Problems of Atomic Science and Technology, Series Thermonuclear Fusion, 38(3), 83-95.)
30. А.В. Рогов, Ю.В. Капустин, Ю.В. Мартыненко. Факторы, определяющие эффективность магнетронного распыления. Критерии оптимизации. Журнал технической физики, 2015, т. 85, №2, с. 126-134. (A. V. Rogov, Y. V. Kapustin, Y. V. Martynenko, (2015). Factors determining the efficiency of magnetron sputtering. Optimization criteria. Technical Physics, 60(2), 283-291)
31. В.Д. Пустовитов. Радиальная сила, действующая на стенку вакуумной камеры токамака при тепловых срывах. Физика плазмы, 2015, т. 41, №12, с. 1029-1038. (V. D. Pustovitov, (2015). Radial force on the vacuum chamber wall during thermal quench in tokamaks. Plasma Physics Reports, 41(12), 952-960)
32. В.С. Неверов, А.Б. Кукушкин, С.В. Лисго, А.С. Кукушкин, А.Г. Алексеев. Асимметрия контуров линии балмер-альфа и восстановление эффективных температур водорода в пристеночной плазме токамака. Физика плазмы, 2015, т. 41, №2, с. 115-124. (V. S. Neverov, A. B. Kukushkin, S. W. Lisgo, A. S. Kukushkin, A. G. Alekseev, (2015). Asymmetry of the balmer-alpha line shape and recovery of the effective hydrogen temperature in the tokamak scrape-off layer. Plasma Physics Reports, 41(2), 103-111)
33. В.Я. Никулин, С.А. Старцев, С.П. Цыбенко. Стационарные цилиндрические структуры в пинчевых разрядах. Краткие сообщения по физике, 2015, т. 42, №5, с. 21-27. (V. Y. Nikulin, S. A. Startsev, S. P. Tsybenko, (2015). Stationary cylindrical structures in pinch discharges. Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 42(5), 133-137)
34. А.В. Мельников, Л.Г. Елисеев, С.Е. Лысенко, С.В. Перфилов, Д.А. Шелухин, В.А. Вершков, М.В. Уфимцев. Дальние корреляции геодезических акустических мод в установке Т-10. ВАНТ, серия «Термоядерный синтез», 2015, т. 38, №1, с. 49-56. (A.V. Melnikov, L.G. Eliseev, S.E. Lysenko, S.V. Perfilov, D.A. Shelukhin, V.A. Vershkov, M.V. Ufimtsev, (2015). Long-distance correlations of geodesic acoustic modes in t-10. Problems of Atomic Science and Technology, Series Thermonuclear Fusion, 38(1), 49 - 56)
35. А.Н. Майоров, В.Я. Никулин, А.В. Огинов, А.М. Жукешов. Исследование аксиальных плазменных потоков в установке типа плазменный фокус ПФ-4. Краткие сообщения по физике, 2015, т.42, №7, с. 3-13. (A. N. Mayorov, V. Y. Nikulin, A. V. Oginov, A. M. Zhukeshov, (2015). Study of axial plasma flows in the PF-4 plasma focus-type setup. Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 42(7), 193-200)
36. В.П. Лахин, Е.А. Сорокина, В.И. Ильгисонис, Л.В. Коновальцева. МГД-модель низкочастотных волн в токамаке с тороидальным вращением плазмы и проблема существования глобальных геодезических акустических мод. Физика плазмы, 2015, т. 41, №12, с. 1054-1061. (V. P. Lakhin, E. A. Sorokina, V. I. Ilgisonis, L.V. Konovaltseva, (2015). MHD-model for low-frequency waves in a tokamak with toroidal plasma rotation and problem of existence of global geodesic acoustic modes. Plasma Physics Reports, 41(12), 975-982)
37. А.А. Иванов, А.А. Мартынов, С.Ю. Медведев, Ю.Ю. Пошехонов. Задачи равновесия плазмы с анизотропным давлением и вращением в токамаке и их численное решение. Физика плазмы, т. 41, №3,

- c. 223-231. (A. A. Ivanov, A. A. Martynov, S. Y. Medvedev, Y. Y. Poshekhonov, (2015). Tokamak plasma equilibrium problems with anisotropic pressure and rotation and their numerical solution. *Plasma Physics Reports*, 41(3), 203-211)
38. В.И. Карась, Е.А. Корнилов, О.В. Мануйленко, В.П. Тараканов, О.В. Федоровская. Транспортировка сильнооточных ионного и электронного пучков в дрейфовом промежутке ускорителя при наличии дополнительного электронного фона. *Физика плазмы*, 2015, т. 41, №12, с. 1108-1126. (V. I. Karas, E. A. Kornilov, O. V. Manuilenko, V. P. Tarakanov, O. V. Fedorovskaya, (2015). Transportation of high-current ion and electron beams in the accelerator drift gap in the presence of an additional electron background. *Plasma Physics Reports*, 41(12), 1028-1045)
 39. А.Ю. Дидык, В.А. Бехтерева, В.С. Куликаускас, С.В. Серушкин, В.Я. Никулин, П.В. Силин, Е. Hajewska. Распределения водорода и дейтерия в фольгах из вольфрама, облученных дейтериевой высокотемпературной плазмой в заполненных H_2 или D_2O герметичных камерах. *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, 2015, №8, с. 104. (A. Y. Didyk, V. A. Bekhterev, V. S. Kulikauskas, S. V. Serushkin, V. Y. Nikulin, P. V. Silin, E. Hajewska, (2015). Hydrogen and deuterium distribution in tungsten foils irradiated with high-temperature deuterium plasma in H_2O - or D_2O -filled hermetic chambers. *Journal of Surface Investigation*, 9(4), 859-867)
 40. A. B. Putrik, N. S. Klimov, Yu. M. Gasparyan, V. S. Efimov, V. A. Barsuk, V. L. Podkovyrov, A. M. Zhitlukhin, A. D. Yarochevskaya, D. V. Kovalenko. Erosion products of plasma facing materials formed under ITER-like transient load and deuterium retention in them. *Physics of Atomic Nuclei*. 2015, Volume 78, Issue 10, pp 1174-1186. (Оригинальный русский текст опубликован в журнале «ВАНТ. Серия «Термоядерный синтез.», 2014, т. 37, №3, с. 15-30.)
 41. A. V. Tumarkin, A. V. Kaziev, D. V. Kolodko, A. A. Pisarev, M. M. Kharkov, G. V. Khodachenko, (2015). Deposition of copper coatings in a magnetron with liquid target. *Physics of Atomic Nuclei*, 78(14), 1674-1676. doi:10.1134/S1063778815140136. (Оригинальный русский текст опубликован в журнале «Ядерная физика и инжиниринг», 2015, т. 5, № 11-12, 1010-1013)
 42. A. E. Evsin, L. B. Begrambekov, A. A. Gordeev, A. V. Grunin, S. V. Ivanova, A. S. Kaplevskii, (2015). Hydrogen behavior in chromium-coated zirconium alloy E-110 during deposition in a gas discharge. *Atomic Energy*, 117(3), 177-183. doi:10.1007/s10512-014-9907-z. (Оригинальный русский текст опубликован в журнале «Атомная энергия», 2014, т. 117, №3, с. 143-147)
 43. L.B. Begrambekov, A.A. Gordeev, A.E. Evsin, S.V. Ivanova, A.S. Kaplevsky, Ya.A. Sadovskiy. Protective structures on the surface of zirconium components of light water reactor cores: formation, testing, and prototype equipment // *Physics of Atomic Nuclei*, 2015, Vol. 78, No.14, pp. 1646-1648. (Оригинальный русский текст опубликован в журнале «Ядерная физика и инжиниринг», 2014, том 5, №11-12, с. 967-969)
 44. D. L. Kirko, A. S. Savelov, (2015). Wave processes in the plasma of a low-inductive vacuum spark. *Russian Physics Journal*, 57(11), 1455-1458. (Оригинальный русский текст опубликован в журнале «Вестник Казанского Технологического Университета», 2014, т.17, №17, с. 44-46)
 45. A. A. Airapetov, L. B. Begrambekov, O. I. Buzhinskiy, A. V. Grunin, A. A. Gordeev, A. M. Zakharov, P. A. Shigin, (2015). Boron carbide coating deposition on tungsten and testing of tungsten layers and coating under intense plasma load. *Physics of Atomic Nuclei*, 78(14), 1640-1642. (Оригинальный русский текст опубликован в журнале «Ядерная физика и инжиниринг», 2014, Vol. 5, Nos. 11–12, pp. 961–963)
 46. A.M. Zakharov, O.A. Dvoichenkova, A.E. Evsin. Modification of surface oxide layers of titanium targets for increasing lifetime of neutron tubes // *Physics of Atomic Nuclei*, 2015, Vol.78, No. 14, pp. 1643-1645. (Оригинальный русский текст опубликован в журнале «Ядерная физика и инжиниринг», 2014, том 5, №11-12, с. 964-966)
 47. V. S. Neverov, V. V. Voloshinov, A. B. Kukushkin, A. S. Tarasov, (2015). Influence of molecular clustering on the interpretation of diffractograms of hydrocarbon films from tokamak T-10. *Physics of Atomic Nuclei*, 78(10), 1112-1119. doi:10.1134/S1063778815100075. (Оригинальный русский текст опубликован в журнале «ВАНТ. Серия «Термоядерный синтез.», 2014, т. 37, №1, с. 62-69.)
 48. A. V. Melnikov, L. G. Eliseev, S. E. Lysenko, S. V. Perfilov, R. V. Shurygin, L. I. Krupnik, A. I. Smolyakov, (2015). Radial homogeneity of geodesic acoustic modes in ohmic discharges with low B in the T-10 tokamak. *JETP Letters*, 100(9), 555-560. doi:10.1134/S0021364014210103. (Оригинальный русский текст опубликован в журнале «Письма в ЖЭТФ», 2014, т. 100, №9, с. 633-638)
 49. A. N. Shmelev, G. G. Kulikov, V. A. Kurnaeve, G. Kh. Salakhutdinov, E. G. Kulikov, and V. A. Apse. Hybrid fusion–fission reactor with a thorium blanket: its potential in the fuel cycle of nuclear reactors. *Physics of*

atomic nuclei, 2015, vol. 78, no. 10, pp. 1100-1111. (Оригинальный русский текст опубликован в журнале «ВАНТ. Серия «Термоядерный синтез.»», 2014, т. 37, №2, с. 3-16.)

Зарубежные конференции:

1. E. Marenkov, S. Krasheninnikov. The Role of the Adatoms Diffusion in the Tungsten Fuzz Growth. IISC-21, 18-23 October, 2015, San Sebastian, Spain.
2. S. Ryabtsev, Yu. Gasparyan, M. Zibrov, A. Pisarev. Deuterium thermal desorption from vacancies and vacancy clusters in tungsten. // IISC-21, 18-23 October, 2015, San Sebastian, Spain.
3. E. Marenkov, Yu. Gasparyan and S. Krasheninnikov. On hydrogen transport in solids with traps: influence of broad-band energy distribution and multiple trapping. 15th International Conference on PLASMA-FACING MATERIALS And COMPONENTS For FUSION APPLICATIONS, Aix-en-Provence, France, 18-22 May, 2015.
4. A.A. Pshenov, A.A. Eksaeva, S.I. Krasheninnikov and E.D. Marenkov. Vapour shielding of solid targets exposed to high heat flux. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI-2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 298-301.
5. E. Marenkov, S. Krasheninnikov. Ablation of high-z material dust grains in edge plasmas. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI-2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 272-273.
6. A.A. Eksaeva, E.D. Marenkov, D. Borodin, A. Kirshner, M. Laenger, V.A. Kurnaev, A. Kreter. ERO-PSI code for numerical simulation of experiments on tungsten sputtering in linear plasma device PSI-2. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI-2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 1, pp. 82–85.
7. D.N. Sinelnikov, D.G. Bulgadaryan, D.V. Kolodko, M.S. Lobov, N.A. Solovov. Pre-breakdown currents from tungsten nano fuzz - a surface with high unipolar arc ignition probability. 5th International Workshop on Mechanisms of Vacuum Arcs (MeVArc 2015), Saariselka, Finland, 2-4 September, 2015.
8. Tumarkin A. V., Kolodko D. V., Kaziev A. V., Khodachenko G. V. Properties of the coatings deposited in a magnetron with melted cathode under different experimental conditions // Book of abstracts of the 7th International Symposium on Advanced Plasma Science and Applications for Nitrides and Nanomaterials / 8th International Conference on Plasma-Nano Technology and Science, March 26–31, 2015, Nagoya, Japan
9. Kaziev A. V., Khodachenko G. V. Magnetic configuration influence on the structure of impulse magnetron discharge with profiled electrodes // Book of abstracts of the 7th International Symposium on Advanced Plasma Science and Applications for Nitrides and Nanomaterials / 8th International Conference on Plasma-Nano Technology and Science, March 26–31, 2015, Nagoya, Japan
10. Kaziev A. V., Tumarkin A. V., Khodachenko G. V. High-current impulse magnetron discharge with liquid target // Book of abstracts of the 6th International Conference on Fundamentals and Industrial Applications of HIPIMS, June 6–11, 2015, Braunschweig, Germany. P. 16
11. Kaziev A. V., Kharkov M. M., Khodachenko G. V. Investigation of discharge structure inhomogeneities observed in high-current quasi-stationary magnetron discharge // Book of abstracts of the 6th International Conference on Fundamentals and Industrial Applications of HIPIMS, June 6–11, 2015, Braunschweig, Germany. P. 26–27
12. Kolodko D. V., Sinelnikov D. N., Kaziev A. V., Tumarkin A. V. Metal-ion Penning source for thin films deposition // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI-2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 98–100
13. Meshcheryakova E. A., Zibrov M. S., Kaziev A. V., Khodachenko G. V., and Pisarev A. A. Characterisation of plasma parameters of inductively-coupled plasma source and its application for nitriding of steels // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI-2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 274–277
14. A.A. Pisarev. Technological applications of plasma surface interactions. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI-2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 1, pp. 40–44.
15. I.E. Borodkina, I.V. Tsvetkov. Plasma-facing surface sputtering estimation using a model of the electric potential distribution in the presence of secondary electron emission in oblique magnetic field. // Proceedings

- of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 1, pp. 102–105.
16. S.A. Ryabtsev, Yu. M. Gasparyan, M.S. Zibrov, A.A. Pisarev. Deuterium thermal desorption from radiation defects in tungsten. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 1, pp. 193–196.
 17. O.A. Koval, I.V. Vizgalov. The use of auto-oscillating beam-plasma discharge for ion implanting in the dust particles. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 1, pp. 334–337.
 18. D. Sinelnikov, V. Kurnaev, D. Kolodko, N. Solovov. Tungsten nano-fuzz surface degradation under ion beam. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 2, pp. 82–85.
 19. Yu.V. Borisyuk, N.M. Oreshnikova, M.A. Berdnikova, A.V. Tumarkin, G.V. Khodachenko, A.A. Pisarev. Plasma nitriding of titanium alloy $Ti_5Al_4V_2Mo$. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 2, pp. 109–112.
 20. O.V. Ogorodnikova. Migration, trapping and release of deuterium from tungsten in the presence of high density of defects: theory and experiment. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 30–32.
 21. K. Gutorov, I. Vizgalov, F. Podolyako, I. Sorokin. Study of plasma interaction with fusion reactor materials at the linear simulator with a beam-plasma discharge. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 49–52.
 22. V.S. Efimov, Yu.M. Gasparyan, A.A. Pisarev, I.B. Kupriyanov. Investigation of deuterium retention in beryllium under high flux pulsed plasma irradiation. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 83–86.
 23. S. I. Krashenninikov. Future directions in edge plasma physics and plasma material interactions in fusion devices: some results from the FES community planning workshops 2015. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, p. 140.
 24. S. Krat, Yu. Gasparyan, A. Pisarev, M. Mayer, G. de Saint-Aubin, I. Bykov, P. Coad, J. Likonen, W. van Renterghem, C. Ruset, A. Widdowson, JET-EFDA contributors. Comparison of erosion and deposition in jet during carbon and ITER-like campaigns. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 153–156.
 25. A.S. Kaplevsky, L.B. Begrambekov, O.A. Dvoychenkova, A.E. Evsin, A.M. Zakharov, P.A. Shigin. On the possibility of decreasing thermal desorption from titanium during ion irradiation. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 165–168.
 26. A.A. Airapetov, L.B. Begrambekov, Ya.A. Sadovskiy. Gasification AMD removal redeposited carbon layers from plasma devices by interaction with oxygen-ozone mixture. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 173–175.
 27. A.E. Evsin, L.B. Begrambekov, A.A. Gordeev. Plasma methods of formation of surface layers on zirconium for mitigation of hydrogen penetration. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 237–239.
 28. M. Zibrov, Yu. Gasparyan, A. Shubina, A. Pisarev. Determination of hydrogen binding energies with defects in metals from thermal desorption measurements with different heating rates. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 245–248.
 29. F.S. Podolyako, I.A. Sorokin, K.M. Gutorov, I.V. Vizgalov, E.G. Shustin. Formation of monoenergetic ion flux from the plasma to the dielectric sample. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 291–293.
 30. A.S. Popkov, S.A. Krat, Yu.M. Gasparyan, A.A. Pisarev. Interaction of lithium-deuterium films with atmospheric gases. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI–2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 294–297.

31. I.A. Sorokin, I.V. Vizgalov, O.A. Bidlevich. Analysis of ion fluxes in linear plasma devices. // Proceedings of the XXII International Conference Ion-Surface Interactions 2015 (ISI-2015), August 20–24, 2015, Moscow, Russia. Vol. 3, pp. 320-323.
32. I.A. Sorokin. In-situ mass analysis of ions in linear plasma device PSI-2. // 12th Carolus Magnus Summer School on Plasma and Fusion Energy Physics, August 24 — September 4, 2015 KU Leuven (Leuven, Belgium)
33. O.A. Bidlevich. In-situ mass-spectrometry of magnetized plasmas. // 12th Carolus Magnus Summer School on Plasma and Fusion Energy Physics, August 24 — September 4, 2015 KU Leuven (Leuven, Belgium)
34. O.A. Koval. The use of auto-oscillating beam-plasma discharge for ion implantation in the dust particles. // 12th Carolus Magnus Summer School on Plasma and Fusion Energy Physics, August 24 — September 4, 2015 KU Leuven (Leuven, Belgium)
35. A.A. Ayrapetov, L.B. Begrambekov, A.E. Evsin, A.V. Grunin, A.A. Gordeev, A.M. Zakharov, A.M. Kalachev, Ya.A. Sadovskiy, P.A. Shigin. Stand for coating deposition and coating/material testing. // 19th International Summer School on Vacuum, Electron and Ion Technologies, 21-25 September, Sozopol, Bulgaria.
36. L. Begrambekov, A. Ayrapetov, A. Evsin, Ch. Grisolia, A. Kaplevsky, Ya. Sadovsky, A. Zakharov. Hydrogen penetration through oxidized metal surface irradiated by oxygen added hydrogen flux. // 2nd Bilateral Indo-Italian Workshop “Nanoscale Excitations in Emergent Materials NEEM-2015”, 12-14 October, 2015, Rome, Italy).
37. O.V. Ogorodnikova. Migration, trapping and release of deuterium from tungsten in the presence of high density of defects: theory and experiment”. // MoD-PMI, May 25-27, 2015, Marseille, France.
38. O.V. Ogorodnikova. Interaction of low energy deuterium plasma with tungsten and nanostructured tungsten coatings: from laboratory data towards tokamak. // ICFRM-17, Aachen 11-16 October 2015.
39. S.A. Krat, A.S. Popkov, I.A. Sorokin, Yu.M Gasparyan, A.A. Pisarev, P. Fiflis, M. Szott, M. Christenson, K. Kalathiparambil, D. Ruzic. Wetting properties of liquid lithium on lithium compounds. International symposium on lithium applications to fusion ISLA-4. Granada, Spain, September 28-30, 2015, p. 38
40. Yu.M. Gasparyan, A.S. Popkov, S.A. Krat, A.A. Pisarev, I.E. Lyublinskiy, A.V. Vertkov. Deuterium release from Li-D films deposited in magnetron discharge. International symposium on lithium applications to fusion ISLA-4. Granada, Spain, September 28-30, 2015, p. 64
41. Yu. Gasparyan, M. Zibrov, A. Shubina, A. Pisarev. On determination of binding energies for hydrogen with radiation defects in tungsten from thermal desorption measurements. // 15th International Conference on PLASMA-FACING MATERIALS And COMPONENTS For FUSION APPLICATIONS, Aix-en-Provence, France, 18-22 May 2015, p. 103
42. M. Zibrov, Yu. Gasparyan, S. Ryabtsev, A. Shubina, A. Pisarev. Deuterium thermal desorption from point defects in tungsten. // 15th International Conference on PLASMA-FACING MATERIALS And COMPONENTS For FUSION APPLICATIONS, Aix-en-Provence, France, 18-22 May 2015, p. 105
43. M. Zibrov, Yu. Gasparyan, A. Shubina, A. Pisarev. Some aspects of determination of hydrogen binding energies with defects in metals. // MoD-PMI, May 25-27, 2015, Marseille, France.
44. L. Begrambekov, Influence of aluminum oxide coating oxygen presence in plasma on deuterium retention in tungsten // MoD-PMI, May 25-27, 2015, Marseille, France.
45. Yu. Gasparyan, M. Zibrov, E. Efimov, A. Shubina, S. Ryabtsev, E. Marenkov, O.Ogorodnikova, A. Pisarev. Determination of binding energies for hydrogen with radiation defects in tungsten by means of TDS: theory and experimental data //2nd Research Coordination Meeting, Seoul, Republic of Korea, 8-11 September 2015.
46. M.A. Alkhimova, S.A. Pikuz, E. Tubman, J. Colgan, A.Ya. Faenov, N. Butler, R. Dance6, P. McKenna, N. Booth, I.Yu. Skobelev, A.G. Zhidkov, N. Woolsey. Доклад: Characteristics X-ray radiation emitted from the front and rear sides of thin Silicon and Aluminum targets irradiated by PW laser pulses. International School on Ultra-Intense Lasers, Moscow, October 2015.
47. M.A. Alkhimova, A.P Melekhov, G.S. Bogdanov, E.D. Vovchenko, O.B.Ananin. Investigation of emission of multiple-charged ion flows from plasma of the laser-induced vacuum discharge. EPSD`15, Frascati, April, 2015.
48. I. Borodkina. An analytical expression for the electric field and particle tracing in plasma-wall interaction experiments at the JET ITER-like wall. 15th International Workshop on Plasma Edge Theory in Fusion Devices. 9-11 September 2015, Nara, Japan.

49. A. Eksaeva. ERO modeling of tungsten Erosion experiments in the PSI-2 linear plasma device. 5th international workshop on plasma material interaction facilities for fusion research (PMIPF), 7-9 October 2015.

Отечественные конференции:

1. Eksaeva A.A., Pshenov A.A., Krashennnikov S.I., E.D. Marenkov. Vapour shielding of solid targets exposed to high heat flux. IV Международная молодежная научная школа-конференция «Современные проблемы физики и технологий», 17-22 марта 2015, НИЯУ МИФИ.
2. А.С. Попков, С.А. Крат, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев. Изучение взаимодействия литий-дейтериевых пленок с атмосферными газами. 10-я Международная Школа молодых ученых и специалистов IHISM'15 Junior имени А.А. Курдюмова. Москва, 28 июня – 4 июля, 2015, с. 62
3. А.С. Шубина, Ю.М. Гаспарян, М.С. Зибров, А.А. Писарев. Определение энергии связи водорода с дефектами по спектрам термодесорбции. 10-я Международная Школа молодых ученых и специалистов IHISM'15 Junior имени А.А. Курдюмова. Москва, 28 июня – 4 июля, 2015, с. 74
4. Казиев А. В., Тумаркин А. В., Степанова Т. В., Харьков М. М., Писарев А. А., Бердникова М. М. Свойства TiN покрытия, осажденного в магнетронном разряде на изделиях из сплава Al-Cu-Ag-Mg-Mn // VII Всероссийская (с международным участием) научно-техническая конференция «Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий», 4–7 ноября 2015 г., АН РТ, Казань
5. Мещерякова Е. А., Казиев А. В., Зибров М. С., Харьков М. М., Степанова Т. В., Писарев А. А. Экспериментальное исследование плазмы высокочастотного индукционного разряда низкого давления в магнитном поле // VII Всероссийская (с международным участием) научно-техническая конференция «Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий», 4–7 ноября 2015 г., АН РТ, Казань.
6. А.Е. Евсин, Л.Б. Беграмбеков, С.С. Довганюк. Особенности захвата и десорбции изотопов водорода при ионно-плазменном осаждении иттрия на цирконий. VII Всероссийская (с международным участием) научно-техническая конференция «Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий», 4-7 ноября 2015 г., Казань
7. Л.Б. Беграмбеков, А.Е. Евсин, А.М. Захаров, А.С. Каплевский. Разработка многослойной мишени для нейтронных генераторов // АТОМТЕХ 2015. Электрофизика. Международная отраслевая научная конференция, 17-19 ноября 2015 г., Москва.
8. Л.Б. Беграмбеков, А.Е. Евсин, А.М. Захаров, А.С. Каплевский. Принципы и методы модификации оксидированных поверхностей элементов приборов и установок атомной техники с целью повышения их производительности // АТОМТЕХ 2015. Электрофизика. Международная отраслевая научная конференция, 17-19 ноября 2015 г., Москва
9. Л.Б. Беграмбеков, Э.М. Глаговский, А.А. Гордеев, А.Е. Евсин, С.В. Иванова, А.С. Каплевский. Покрытие, защищающее сталь от коррозии при контакте с расплавом свинца и метод его нанесения на внутрикорпусные устройства, трубопроводы и корпуса быстрых реакторов со свинцовым теплоносителем // Семинар «Конструкционные материалы активных зон быстрых и термоядерных реакторов КОМАЗ-2015», 17 декабря 2015 г., Москва.
10. Э.И. Додулад, И.К.Л. Губский, А.П. Кузнецов, И.Ф. Раевский, А.М. Рамазанов, А.С. Савёлов, С.А. Саранцев. Лазерные методики измерения давления импульсной плазмы в микропинчевом разряде в радиальном и осевом направлениях. // АТОМТЕХ 2015. Электрофизика. Международная отраслевая научная конференция, 17-19 ноября 2015 г., Москва.
11. Ю.В. Борисюк, Р.В. Жарков, Н.М. Орешникова, С.А. Рябцев, А.А. Писарев, Г.В. Ходаченко. Азотирование в аномальном тлеющем разряде деталей из стали 30ХН2МФА. // АТОМТЕХ 2015. Электрофизика. Международная отраслевая научная конференция, 17-19 ноября 2015 г., Москва.
12. М.А. Алхимова, А.С. Савелов, С.А. Пикуз. Спектральный анализ сверхъяркого источника рентгеновского излучения, формирующегося в плотной релятивистской лазерной плазме. Молодежная научная школа «Современные проблемы физики, техники и технологий», март 2015г.

Доклады, представленные на зимней научной сессии НИЯУ МИФИ 2015 года в рамках секции «Физика плазмы и УТС» (19 февраля 2015 г.) и XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью» (5-6 февраля 2015г.):

1. Крашевская Г.В., Цвентух М.М., Пришвицын А.С. Изучение устойчивости плазмы в конфигурации со знакопеременной кривизной магнитного поля, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 141.
2. Барминова Е.Е., Чихачев А.С. Развитие неустойчивости Пирса-Бунемана в системе экстракции источника отрицательных ионов, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 141.
3. Мещерякова Е.А., Зибров М.С., Ходаченко Г.В., Казиев А.В. Исследование параметров плазмы высокочастотного индукционного разряда методами зондов Ленгмюра и оптической эмиссионной спектроскопии, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 142.
4. Борисюк Ю.В., Писарев А.А., Ходаченко Г.В., Рябцев С.А., Крашевская Г.В., Казиев А.В., Тумаркин А.В. Режимы горения аномального тлеющего разряда внутри трубок с аспектным отношением 8-40, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 142.
5. Тумаркин А.В., Казиев А.В., Ильичев И.В., Колодко Д.В., Ходаченко Г.В. Осаждение покрытий из меди импульсным магнетроном с расплавленным катодом, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 143.
6. Харьков М.М., Казиев А.В., Тумаркин А.В., Ходаченко Г.В. Свойства покрытий из меди и титана, получаемых с помощью сильноточного импульсного магнетронного разряда, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 143.
7. Степаненко А.А., Жданов В.М. Коэффициенты переноса электронов в молекулярной и атомарной плазме с учетом неупругих столкновений, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 144.
8. Попов В.Д., Гуторов К.М., Сорокин И.А. Исследование топологии магнитного поля автоколебательного разряда, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 144.
9. Сорокин И.А., Визгалов И.В., Гуторов К.М., Подоляко Ф.С. О возможности диагностики микротечей воды с помощью автоколебательного разряда, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 145.
10. Сорокин И.А., Визгалов И.В. In-situ анализ ионного состава замагниченной плазмы, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 145.
11. Ананьин О.Б., Башутин О.А., Богданов Г.С., Вовченко Е.Д., Герасимов И.А., Двоеглазов Я.М., Мелехов А.П., Савелов А.С., Раевский И.Ф., Филиппов Е.Д. Интерферометрическая система для визуализации быстротекущих процессов с лазерной плазмой, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 147.
12. Баловнев А.В., Григорьева И.Г., Додулад Э.И., Савелов А.С., Салахутдинов Г.Х. Исследование рентгеновского излучения плазмы, образованной в сильноточных импульсных электрических разрядах, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 148.
13. Баловнев А.В., Вовченко Е.Д., Григорьева И.Г., Додулад Э.И., Савелов А.С., Салахутдинов Г.Х. Источники рентгеновского излучения и ионной эмиссии в плазме сильноточного электрического разряда, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 148.
14. Хилько М.В., Волков Г.С. Измерение размеров излучающей области сильноточного Z-пинча в диапазоне энергий квантов мягкого рентгеновского излучения, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 149.
15. Колодко Д.В., Мамедов Н.В., Синельников Д.Н., Ходаченко Г.В. Создание источника газовых и металлических ионов для нанесения тонких пленок, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 149.
16. Додулад Э.И., Костюшин В.А., Савёлов А.С. Определение плотности плазмы, эмитируемой разрядом типа сильноточная низкоиндуктивная вакуумная искра, с помощью комплексной корпускулярной диагностики, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 150.
17. Саранцев С.А. Оценки давления плазмы сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры на поверхность катода, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 150.
18. Саранцев С.А., Двоеглазов Я.М., Раевский И.Ф. Влияние величины разрядного тока сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры на размеры субмикронной структуры на поверхности электродов, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 151.
19. Саранцев С.А., Раевский И.Ф. Влияние материала электродов на эмиссионные свойства низкоиндуктивной вакуумной искры, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 151.
20. Саранцев С.А. Модель формирования поверхностной структуры катода при взаимодействии с потоками плазмы сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 152.
21. Дворнова А.А., Герасимов С.Н., Хавличек Й., Хронова О., Панек Р. Траектории 3D асимметрий тока во время срывов, научная сессия МИФИ, ПЛИТ 2015, Москва, Т.2, с. 152.

22. В.А. Курнаев. Обзор данных по взаимодействию плазмы с материалами для термоядерных исследований и технологий в российской федерации, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 8.
23. С.И. Крашенинников, Р.Д. Смирнов. He cluster dynamics in tungsten in the presence of cluster induced formation of he traps, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 16.
24. Е.Д. Маренков, С.И. Крашенинников. Испарение пылинок с большим атомным номером в пристеночной плазме токамака, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 20.
25. С.А. Крат, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев, М. Mayer, G. de Saint-Aubin, I. Bykov, P. Coad, J. Likonen, W. van Renterghem, C. Ruset, A. Widdowson, участники JET-EFDA, эрозия и осаждение материалов в диверторе JET в кампании 2011-2012 годов, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 23.
26. А.А. Айрапетов, Л.Б. Бегамбеков, А.Н. Войтюк, В.П. Терентьев, Удаление перенапыленных бор-углеродных слоев, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 26.
27. А.А. Пшенов, А.А. Ексаева, Е.Д. Маренков, С.И. Крашенинников. Моделирование экранирования поверхностей обращенных к плазме материалов под воздействием экстремальных потоков энергии, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 33.
28. Д.Н. Синельников, В.А. Курнаев, Н.В. Мамедов. Модификация наноструктурированной поверхности вольфрама при облучении ионным пучком, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 37.
29. Н.П. Бобырь, В.Х. Алимов, Б.И. Хрипунов, А.В. Спицын, А.В. Голубева, М. Майер. Влияние гелиевой примеси на обмен изотопов водорода в вольфраме при последовательном облучении дейтериевой и протий-гелиевой плазмой, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 41.
30. А.Е. Евсин, Л.Б. Бегамбеков, А.С. Каплевский. Влияние облучения атомами дейтерия на транспорт изотопов водорода сквозь поверхностный оксидный слой циркония, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 44.
31. М.С. Зибров, Ю.М. Гаспарян, С.А. Рябцев, А.С. Шубина, А.А. Писарев. Термодесорбция дейтерия из точечных дефектов в вольфраме, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 48.
32. А.С. Попков, С.А. Крат, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев. Изучение взаимодействия литий-дейтериевых пленок с атмосферными газами, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 52.
33. Д.А. Труфанов, Е.Д. Маренков, С.И. Крашенинников. Роль диффузии адатомов вольфрама в росте вольфрамового пуха, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 56.
34. В.С. Ефимов, Ю.М. Гаспарян, А.А. Писарев, И.Б. Куприянов. Исследование накопления дейтерия в бериллии при облучении мощными импульсными потоками плазмы, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 59.
35. Ю.В. Борисюк, Н.М. Орешникова, Г.В. Ходаченко, А.В. Тумаркин, М.М. Бердникова, А.А. Писарев. Азотирование титанового сплава ВТ-23 в аномальном тлеющем разряде, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 63.
36. И.Е. Бородкина, И.В. Цветков. Расчет динамики заряженных частиц в пристеночном слое и распыления обращенных к плазме поверхностей, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 68.
37. Ю.В. Мартыненко. Эрозия металла при воздействии плазменных потоков, характерных для переходных режимов ИТЭР, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 76.
38. Л.Б. Бегамбеков, С.В. Вергазов, О.А. Двойченкова, А.Е. Евсин, А.С. Каплевский, Я.А. Садовский. Транспорт водорода через оксидированную поверхность металлов при облучении атомами и ионном облучении, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 82.

39. О.В. Огородникова, В. Ганн, М.С. Зибров, Ю.М. Гаспарян, В.С. Ефимов. Сравнение накопления дейтерия в W, предварительно поврежденном электронами, ионами вольфрама и нейтронами, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 88.
40. Н.Н. Дегтяренко, А.А. Писарев. Моделирование взаимодействия водорода с вольфрамом, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 94.
41. 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, сборник научных трудов XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью», г. Москва, 2015, с. 102.

Доклады, представленные на XI Курчатовской молодежной школе 27 – 30 октября 2015 г.:

1. Ефимов В.С., Посакалов А.Г., Гаспарян Ю.М. Определение содержания гелия в вольфрамовом «пухе» методом термодесорбционной спектроскопии.
2. Ексаева А.А., Маренков Е.Д., Бородин Д., Кишнер А., Крестер А., Райнхарт М., Брезинск С. Моделирование экспериментов по распылению вольфрама на установке PSI-2 в режиме ERO.

Признание (награды, премии, персональные гранты)

1. Садовский Я.А., Грант Президента РФ на 2014-2015 гг.
2. О.В. Огородникова, В.В. Ганн, Ю.М. Гаспарян. «Радиационные повреждения вольфрама и мало-активируемых сталей нового поколения и их влияние на захват дейтерия». Лучший результат в области радиационной физики твердого тела 2015 года (Научный Совет РАН по проблеме «Радиационная физика твердого тела»)
3. Е.Д. Маренков избран членом международного научного комитета от РФ воркшопа по неупругим столкновениям ионов на поверхности (Inelastic Ion –Surface Collisions (IISC))
4. Н.М. Орешникова, Диплом за лучший постер среди молодых учасников XXII международной конференции «Взаимодействие ионов с поверхностью»
5. С.А. Крат, Благодарность за руководство исследовательской работой победителя XXII Всероссийских юношеских Чтений им. В.И.Вернадского
6. А.А. Ексаева. Диплом за «лучший доклад на английском языке» на IV международной молодежной научной школе-конференции «Современные проблемы физики и технологий»
7. А.С. Пришвицын. Стипендия правительства РФ за высокие достижения в научно-исследовательской деятельности.
8. А.С. Пришвицын (в составе команды НИЯУ МИФИ). Диплом за 4-е место в 43-ей Московской городской олимпиаде по сопротивлению материалов.

Объекты интеллектуальной собственности:

1. Беграмбеков Л.Б., Евсин А.Е. Иванова С.В. Способ испытаний циркониевых сплавов в пароводяной среде (№2550347. Зарегистрирован 09.04.2015)
2. Мозгрин Д.В., Ходаченко Г.В., Степанова Т.В., Попова Г.В., Ванцян М.А., Бобров М.Ф. Способ получения гибридного наноструктурированного металлополимера. (Заявка – 10.12.2013, № 2547059. Зарегистрирован 10.04.2015)
3. Ходаченко Г.В., Степанова Т.В., Берлин Е.В., Григорьев В.Ю., Писарев А.А. Способ комбинированной ионноплазменной обработки изделий из алюминиевых сплавов. (Заявка – 15.09.2014, № 2566232. Зарегистрирован 20.10.2015)

Учебные пособия

1. Стрелков В.С. Основы техники термоядерного эксперимента в токамаке. НИЯУ МИФИ. 2015. 188 с.
2. Савелов А.С., Салахутдинов Г.Х. Сцинтилляционные кристаллы для плазменно-физического эксперимента. Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2015. – 32 с.

Монография

1. А.В.Мельников. Электрический потенциал в плазме тороидальных установок. НИЯУ МИФИ. 2015. 260с.

Защищенные диссертации:

1. Степаненко А.А. Влияние неупругих столкновений частиц на процессы переноса в частично ионизованной многокомпонентной плазме, к.ф.-м.н., специальность 01.04.08, 25 февраля 2015.
2. Гаспарян Ю.М. Deuterium retention, desorption, and migration in plasma facing materials for fusion devices. PhD in Physics, НИЯУ МИФИ, 22 декабря 2015.

Диссертации, защищенные выпускниками кафедры вне НИЯУ МИФИ

3. Бурлака В. – PhD Vladimir Burlaka "Critical thicknesses in Nb-H thin films: coherent and incoherent phase transitions, change of precipitation and growth modes and ultrahigh mechanical stress" – Georg-August-Universität Gottingen, 09.12.2015.

Издания кафедры:

1. Годовой отчет по НИР за 2014 год (ISBN 978-5-7262-2139-7) Ред. В.А. Курнаев, М.: МИФИ 2015, 64с.
2. Материалы XVIII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью». Москва, 5-6 февраля 2015 г. (ISBN 978-5-7262-2079-6) Ред. В.А. Курнаев и др., М.: МИФИ 2015, 108 с.

Научно-организационные мероприятия, проведенные кафедрой и при ее активном участии:

1. Секция «Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез» Первой международной конференции «Плазменные, лазерные исследования и технологии» (В рамках научной сессии МИФИ-2015), Москва, 19 февраля 2015 г.
2. XVIII Конференция «Взаимодействие плазмы с поверхностью», Москва, 5-6 февраля 2015 г.
3. XXII Международная конференция «Взаимодействие ионов с поверхностью», 20-24 августа 2015г., г. Москва.
4. Международная научная конференция АТОМТЕХ-2015.электрофизика, 17 – 19 ноября 2015, г. Москва

Международное сотрудничество:

1. University of California San Diego, USA – Совместные исследования (Крашенинников, Маренков, Степаненко, Пшенов).
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. Forschungszentrum 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, Д.И. Кирамов, А. Дворнова)
5. Институт атомной энергии, г. Курчатов, Казахстан – Совместные исследования и публикации (Визгалов И.В., Курнаев В.А.)
6. CEA Cadarache, France – Стажировка, совместные исследования и публикации (А. Грунин, Л.Б. Беграмбеков).
7. Aix-Marseille University, France – Стажировка, совместные исследования и публикации (А. Каплевский, Л.Б. Беграмбеков).
8. University of Illinois, USA Стажировка, совместные исследования (И. Щелканов, С. Крат, А. Попков, Писарев).
9. University of Gent (coordinator of European Erasmus Mundus program in Fusion physics and engineering) – Участие и координация действий в магистерской и докторской программах в качестве ассоциированного члена.
10. Стажировка на европейском токамаке JET (И.Е. Бородкина)
11. Университет Нагойи, Япония – Стажировка, совместные исследования (Д.Н. Синельников)
12. Ecole Polytechnique, Палезо, Франция - Стажировка, совместные исследования (С.А. Пикуз, Е. Филиппов)
13. Институт Фотоники Кансаи (Киото, Японии) - Стажировка, совместные исследования (М. Алхимова)

**ДИПЛОМНЫЕ ПРОЕКТЫ, ЗАЩИЩЕННЫЕ СТУДЕНТАМИ КАФЕДРЫ В 2015 ГОДУ,
С ПРИСВОЕНИЕМ КВАЛИФИКАЦИИ ИНЖЕНЕР-ФИЗИК**

№	Фамилия И.О.	Руководитель	Тема дипломного проекта
T12-21			
1	Волобуев Евгений Николаевич	Климов Н.С. (ТРИНИТИ)	Защита обращенных к плазме элементов оптических диагностик от запыления продуктами эрозии во время срыва в итэр
2.	Глухов Евгений Сергеевич	Коваленко Д.В. (ТРИНИТИ)	Определение режимов плазменно-тепловой обработки материалов на установке КСПУ-Т для технологических применений
3.	Дворнова Анастасия Алексеевна	Курнаев В.А. (НИЯУ МИФИ)	Изучение срывов на токамаке COMPASS
4.	Денежко Максим Александрович	Степанюк В.С. (ВНИИЭФ)	Расчетное обоснование возможности измерения температуры во взрывных экспериментах методом нейтронной резонансной доплеровской спектроскопии на ускорителе протонов У-70
5.	Дзятко Елена Владимировна	Будаев В.П. (НИЦ КИ)	Сравнительный статистический анализ флуктуаций в периферийной и центральной плазме токамака Т-10
6.	Донецкий Сергей Юрьевич	Сарычев Д.В. (НИЦ КИ)	Экспериментальные и расчетные исследования режимов с различным удержанием примесей на токамаке Т-10 с использованием детекторов радиационных потерь".
7.	Климюк Татьяна Сергеевна	Попов И.В. (ВНИИЭФ)	Аналитическое решение задачи о заполнении рентгеновским излучением мишени непрямого облучения для инерциального термоядерного синтеза
8.	Малькова Юлия Сергеевна	Орлов Ю. Н. (ИПМ РАН)	Численное моделирование разлета термоядерной микромишени в камере реактора ИТС с учетом электромагнитного поля плазмы
9.	Малютин Иван Геннадьевич	Грицук А.Н. (ТРИНИТИ)	Экспериментальное исследование спектров излучения Z-пинча на установке «Ангара-5-1»
10.	Мартыненко Артем Сергеевич	Деркач В.Н. (ВНИИЭФ)	Исследование на лазерных установках критериев разрушения астероидоподобных тел из хондрита при воздействии на них мощного импульсного излучения
11.	Попов Вячеслав Дмитриевич	Гуторов К.М. (НИЯУ МИФИ)	Пространственная структура переменных полей в автоколебательном разряде.
12.	Попков Алексей Сергеевич	Гаспарян Ю.М. (НИЯУ МИФИ)	Изучение взаимодействия осажденных в магнетронном разряде литий-дейтериевых пленок с атмосферными газами
13.	Рахманов Роман Ахорович	Беграмбеков Л.Б. (НИЯУ МИФИ)	Исследование поведений покрытий карбида бора и перенапыленных слоев вольфрама при термоциклировании и циклическом облучении ионами и электронами
14.	Труфанов Дмитрий Андреевич	Маренков Е.Д. (НИЯУ МИФИ)	Роль диффузии адатомов вольфрама в росте вольфрамового пуха

15.	Харьков Максим Михайлович	Ходаченко Г.В. (НИЯУ МИФИ)	Экспериментальное исследование режимов сильноточного импульсного магнетронного разряда
E12-04			
1.	Двойченкова Ольга Александровна	Беграмбеков Л.Б. (НИЯУ МИФИ)	Исследование взаимодействия ионов водорода с титановыми слоями с целью увеличения производительности и ресурса работы нейтронного генератора.
2.	Тарасюк Григорий Михайлович	Писарев А.А. (НИЯУ МИФИ)	Модификация угольного электрода суперконденсатора в плазме тлеющего разряда.
3.	Терентьев Вячеслав Павлович	Беграмбеков Л.Б. (НИЯУ МИФИ)	Разработка способа газификации и удаления бор- углеродных слоев
C12-06			
1.	Синцев Владимир Николаевич	Крашевская Г.В. (НИЯУ МИФИ)	Экспериментальная проверка пикирования профилей магнитного давления в ловушках со знакопеременной кривизной магнитного поля



В день защиты дипломов 18.02.2015. В первом ряду преподаватели (слева направо): А.С. Савелов, П.В. Романов, Э.А.Азизов (председатель ГЭК), В.С. Стрелков, В.А. Курнаев, А.А. Писарев. Второй ряд: Д.Л. Кирко, В.В. Вайтонис

МАГИСТЕРСКИЕ ДИССЕРТАЦИИ, ЗАЩИЩЕННЫЕ СТУДЕНТАМИ КАФЕДРЫ В 2015 ГОДУ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 14.04.02 – ЯДЕРНЫЕ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

№	Фамилия И.О.	Руководитель	Тема дипломного проекта
T08-21			
1.	Егоров Игорь Дмитриевич	Курнаев В.А. (НИЯУ МИФИ)	Исследование распределения температуры на поверхности обращенных к плазме материалов

БАКАЛАВРСКИЕ ДИССЕРТАЦИИ, ЗАЩИЩЕННЫЕ СТУДЕНТАМИ КАФЕДРЫ В 2015 ГОДУ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 14.03.02 – ЯДЕРНЫЕ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

<i>№</i>	<i>Фамилия И.О.</i>	<i>Руководитель</i>	<i>Тема дипломного проекта</i>
1	Васина Яна Андреевна	Гаспарян Ю.М. (НИЯУ МИФИ)	Разработка методики изучения взаимодействия литиевых пленок с атмосферными газами методом кварцевого микробаланса
2.	Войтюк Александр Николаевич	Захаров А.М. (НИЯУ МИФИ)	Изготовление и тестирование прототипа электростатического зонда для сбора пыли в термоядерных установках
3.	Ильичев Игорь Владимирович	Тумаркин А.В. (НИЯУ МИФИ)	Измерение пространственного распределения параметров плазмы импульсного магнетронного разряда с расплавленным катодом
4.	Калинников Алексей Игоревич	Синельников Д.Н. (НИЯУ МИФИ)	Исследование энергетических характеристик режимов работы источника Пннинга
5.	Козлова Василиса Владимировна	Писарев А.А. (НИЯУ МИФИ)	Модификация угольного электрода супер-конденсатора в плазме тлеющего разряда
6.	Кузнецов Денис Павлович	Садовский Я.А. (НИЯУ МИФИ)	Автоматизированная система зондовой диагностики для исследования разряда с накалимым катодом
7.	Посакалов Александр Геннадьевич	Гаспарян Ю.М. (НИЯУ МИФИ)	Исследование модификации поверхности вольфрама под действием облучения ионами гелия
8.	Соловьев Никита Алексеевич	Курнаев В.А. (НИЯУ МИФИ)	Модификация наноструктурированной поверхности вольфрама под действием ионного пучка
9.	Фахриев Борис Радикович	Савелов А.С. (НИЯУ МИФИ)	Влияние материалов электродов на спектр излучения разряда типа сильнотоочная низкоиндуктивная вакуумная искра
10.	Шутикова Мария Игоревна	Беграмбеков Л.Б. (НИЯУ МИФИ)	Анализ процесса низкотемпературной десорбции водорода из нержавеющей стали

НИЦ КИ - Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,

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

ВНИИЭФ – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (г. Саров)

ИПМ РАН – Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН.

Практика школьников

ФИО школьника	Лицей	Тема	Руководитель темы
Летняя практика школьников			
Ахламова Ксения Михайловна	1523	Исследование газообмена между водородной плазмой и стенками вакуумной камеры из нержавеющей стали	Айрапетов А.А.
Сиразетдинова Алина Ириковна	1547		
Дождев Александр Алексеевич	1547		
Чумаков Степан Вадимович	1511		
Июльская Ксения Евгеньевна	1523	Исследование высокотемпературных сверхпроводящих магнитных систем	Егоров И.Д.
Назаров Александр Юрьевич			
Парменова Екатерина Владимировна	1511		
Назаров Кирилл Андреевич	1511	Изучение взаимодействия атомов водорода с поверхностью материалов	Ефимов В.С.
ШКОЛЬНАЯ ПРАКТИКА (Центр образования «Царицыно» № 548)			
Артанова Марина Владимировна	548	Вольфрмовый нанопух как новый материал для термоядерных установок	Синельников Д.Н.
Вепржицкий Иван Юрьевич	548		
Дмитриев Василий Михайлович	548		
Иванов Иван Андреевич	548		
Сахарова Таисия Сергеевна	548		
Шулика Дмитрий Олегович	548		
Научная практика школьников в ходе весеннего семестра 2015			
Лазарева Влада Евгеньевна	1511	Исследование газообмена между водородной плазмой и стенками вакуумной камеры из нержавеющей стали	Каплевский А.С.
Готовцев Владислав Олегович	1511		
Мальнев Андрей Андреевич	1511	Рельсовая пушка с лазерным поршнем	Егоров И.Д.
Пасхалов Михаил Павлович	1511		
Астапов Руслан Лютерович	1511		
Молчанова Екатерина Артёмовна	1511	Осаждение пористых кремниевых покрытий на металлические поверхности	Крат С.А.
Харина Анна Павловна	1511		

Свои работы ребята с успехом представили на различных конкурсах в начале 2016 года.

Призовые места на конкурсе «Юниор-2016» заняли: Артанова Марина, Влада Лазарева, Иванов Иван и Дмитриев Василий.

СПИСОК СОТРУДНИКОВ И АСПИРАНТОВ КАФЕДРЫ И ЛАБ. №377

Штатные преподаватели

Беграмбеков Л.Б.	проф.
Визгалов И.В.	доцент
Гаспарян Ю.М.	доцент
Гуторов К.М.	доцент
Жданов В.М.	проф.(0,5)
Захаров А.М.	доцент
Кирко Д.Л.	доцент
Крашевская Г.В.	доцент
Курнаев В.А.	проф., зав. каф.
Писарев А.А.	проф.
Савелов А.С.	проф.
Салахутдинов Г.Х.	проф.
Шигин П.А.	Доцент (0,75)
Садовский Я.А.	ассистент
Маренков Е.Д.	доцент
Саранцев С.А.	ассистент
Синельников Д.Н.	ст.препод.

Совместители

Акишев Ю.С.	проф. (ТРИНИТИ)
Глова А.Ф.	проф. (ТРИНИТИ)
Иванов В.А.	доцент (ИОФ РАН)
Зимин А.М.	инж. (МГТУ им.Баумана)
Ильгисонис В.И.	проф. (НИЦ КИ)
Кирнева Н.А.	доц. (НИЦ КИ)
Ковыльникова В.Н.	инж.
Кутеев Б.В.	проф. (НИЦ КИ)
Мирнов С.В.	проф. (ТРИНИТИ)
Мозгун Д.В.	доц. (Минобрнауки)
Морозов Д.Х.	проф. (НИЦ КИ)
Стрелков В.С.	проф. (НИЦ КИ)
Цветков И.В.	доц. (НИЯУ МИФИ)
Черковец В.Е.	проф. (ТРИНИТИ)
Алимов В.Х.	проф. (ИФХ РАН)
Климов Н.С.	доц. (ТРИНИТИ)
Кукушкин А.Б.	проф. (НИЦ КИ)
Кукушкин А.С.	проф. (НИЦ КИ)
Лисица В.С.	проф. (НИЦ КИ)
Лукаш В.Э.	проф. (НИЦ КИ)
Мартыненко Ю.В.	проф. (НИЦ КИ)
Медведев С.Ю.	проф. (ИПМ Келдыша)
Мельников А.В.	проф. (НИЦ КИ)
Никулин В.Я.	проф. (ФИАН)
Пустовитов В.Д.	проф. (НИЦ КИ)
Смирнов В.П.	проф. (ОИВТ РАН)
Тараканов В.П.	проф. (ОИВТ РАН)
Хайрутдинов Р.Р.	проф. (НИЦ КИ)
Цветков И.В.	доц. (НИЯУ МИФИ)

Шустин Е.Г.	проф. (ФИРЭ РАН)
Лучков Б.И.	проф. (НИЯУ МИФИ)
Скобелев И.Ю.	проф.(ОИВТ РАН)

Совместители - иностранцы

Батани Д.	проф.
Батырбеков Э.Г.	проф.
Ван Оост Г.	проф.
Гризолья К.	проф.
Джурабекова Ф.	доц.
Лайе Ж.	проф.
Мартинес Ю.	доц.
Нордлунд К.	проф.
Петрович С.	проф.
Росми Ф.	проф.
Русинов А.А.	доц.
Тажибаева И.Л.	проф.
Танабе Т.	проф.
Терентьев Д.	доц.
Штрюмфель Й.	проф.
Ямаваки М.	проф.

Научный сектор

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

Совместители

Пикуз С.А.	н.с. к.ф.м.н.
Ролдугин В.И.	с.н.с. д.ф.м.н.
Канашенко С.Л.	н.с.

Вспомогательный персонал

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

Аспиранты

Бородкина И.Е.	Раевский И.Ф.
Григорьева И.Г.	Помазан О.А.
Евсин А.Е.	Костюшин В.А.
Каплевский А.С.	Филиппов Е.Д.
Крат С.А.	Алхимова М.А.
Тумаркин А.В.	Манохин И.Л.
Николаева В.Е.	Рябцев С.А.
Баловнев А.В.	Колодко Д.В.
Асадулин Г.Б.	Булгадарян Д.Г.
Двоеглазов Я.М.	Егоров И.Д.
Ермаков В.Н.	Мартыненко А.С.
Зибров М.С.	Попков А.С.
Грунин А.В.	Попов В.Д.
Сорокин И.А.	Пунтаков Н.А.
Подолько Ф.С.	Труфанов Д.А.
Ефимов В.С.	

Лаборатория №377

Крашенинников С.И.	Зав. лаб., д.ф.м.н.
Степаненко А.А.	инж. к.ф.м.н.
Казиев А.В.	инж. к.ф.м.н.
Пшенов А.А.	инж. (0,5 ставки)
Тарасюк Г.М.	инж.
Харьков М.М.	инж.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ РАБОТ

<i>Hwangbo D.</i>	28	<i>Костюшин В.А.</i>	19
<i>Ohno N.</i>	28	<i>Крат С.А.</i>	32, 38
<i>Айрапетов А.А.</i>	24, 25	<i>Крашенинников С.И.</i>	6, 7, 9
<i>Алхимова М.А.</i>	21	<i>Кретер А.</i>	10, 18
<i>Атаманов М.В.</i>	30	<i>Кукушкин А.С.</i>	6
<i>Башутин О.А.</i>	15	<i>Курнаев В.А.</i>	28, 29
<i>Беграмбеков Л.Б.</i>	23, 24, 25, 31, 37	<i>Ли В.</i>	7
<i>Бердникова М.А.</i>	30	<i>Лучкин А.Г.</i>	23
<u><i>Бидлевич О.А.</i></u>	36	<i>Манохин И.Л.</i>	17
<i>Борисюк Ю.В.</i>	11	<i>Маренков Е.Д.</i>	9, 10
<i>Бородин Д.</i>	10	<u><i>Мещерякова Е.А.</i></u>	14
<i>Бородкина И.Е.</i>	8	<i>Мозгрин Д.В.</i>	11
<i>Брандт К.</i>	18	<i>Огородникова О.В.</i>	22
<i>Брезинсек С.</i>	10	<u><i>Орешникова Н.М.</i></u>	11
<i>Булгадарян Д.Г.</i>	28, 29	<u><i>Пикуз С.А.</i></u>	20, 21
<i>Быстров К.</i>	26	<i>Писарев А.А.</i>	11, 14, 27, 30, 32, 33, 38
<u><i>Васина Я.А.</i></u>	38	<u><i>Попков А.С.</i></u>	32, 38
<i>Вахитов И.Р.</i>	23	<u><i>Посакалов А.Г.</i></u>	26
<i>Визгалов И.В.</i>	12, 13, 17, 18, 36	<i>Пунтаков Н.А.</i>	24, 25
<i>Вовченко Е.Д.</i>	15	<i>Пшенов А.А.</i>	6
<u><i>Войтюк А.Н.</i></u>	37	<i>Раевский И.Ф.</i>	19, 34, 35
<i>Ганн В.В.</i>	22	<i>Райнхарт М.</i>	10
<i>Гаспарян Ю.М.</i>	9, 22, 26, 27, 32, 38	<i>Реве Г.</i>	20
<i>Грецкая И.Ю.</i>	24, 25	<i>Ромазанов Ю.</i>	10
<i>Грунин А.В.</i>	24, 25	<i>Рузик Д.Н.</i>	32
<i>Гумаров А.И.</i>	23	<i>Рычагов А.Ю.</i>	33
<i>Гуторов К.М.</i>	12	<i>Рябцев С.А.</i>	27
<i>Двоеглазов Я.М.</i>	34, 35	<i>Савелов А.С.</i>	15, 16, 21, 34
<i>Деньщиков К.К.</i>	33	<i>Садовский Я.А.</i>	24, 25, 31
<i>Додулад Э.И.</i>	19	<i>Саранцев С.А.</i>	19, 34, 35
<u><i>Дьяченко М.Ю.</i></u>	24, 25	<i>Сидоров П.П.</i>	15
<i>Евсин А.Е.</i>	23	<i>Синельников Д.Н.</i>	28, 29
<i>Егоров И.Д.</i>	16	<i>Скобелев И.Ю.</i>	20
<u><i>Ексаева А.А.</i></u>	10	<i>Сорокин И.А.</i>	12, 18, 36
<i>Ефимов В.С.</i>	26	<i>Степаненко А.А.</i>	7
<i>Захаров А.М.</i>	37	<i>Степанова Т.В.</i>	11, 14, 30
<i>Зибров М.С.</i>	14, 27	<i>Тагиров Л.Р.</i>	23
<i>Измайлова Н.Ф.</i>	34	<u><i>Тарасюк Г.М.</i></u>	33
<i>Казиев А.В.</i>	14, 30	<i>Тумаркин А.В.</i>	30
<i>Калта С.</i>	28	<i>Фесенко В.А.</i>	34
<i>Каплевский А.С.</i>	31	<i>Филиппов Е.Д.</i>	20
<i>Кашапов Н.Ф.</i>	23	<i>Фукс Дж.</i>	20
<i>Кирко Д.Л.</i>	16	<u><i>Харьков М.М.</i></u>	14, 30
<i>Кишнер А.</i>	10	<i>Цветков И.В.</i>	8
<u><i>Коваль О.А.</i></u>	13	<i>Щелканов И.А.</i>	32
<u><i>Козлова В.В.</i></u>	33	<i>Янилкин Н.В.</i>	23
<u><i>Колодко Д.В.</i></u>	28, 29		

Подчеркнуты фамилии студентов

Секция
«ФИЗИКА ПЛАЗМЫ И УПРАВЛЯЕМЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ»

Заседание №1

Среда, 29 января

начало в 10.00

Аудитория 33-103

Председатель – профессор КУРНАЕВ В.А.

10.00-10.15	КРАШЕВСКАЯ Г.В., ЦВЕНТУХ М.М. ¹ , ПРИШВИЦЫН А.С. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ¹ Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Москва Изучение устойчивости плазмы в конфигурации со знакопеременной кривизной магнитного поля
10.15-10.30	СТЕПАНЕНКО А.А., ЖДАНОВ В.М. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Коэффициенты переноса электронов в молекулярной и атомарной плазме с учетом неупругих столкновений
10.30-10.45	ДВОРНОВА А.А., ГЕРАСИМОВ С.Н. ¹ , ХАВЛИЧЕК Й. ^{2,3} , ХРОНОВА О. ² , ПАНЕК Р. ² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ¹ Калэмский научный центр, Абингдон ² Институт физики плазмы, Прага ³ Карлов университет, Прага Траектории 3D асимметрий тока во время срывов
10.45-11.00	ГУЗЕЕВ В.В., КАЛАЕВ М.Е., СЕМЕНОВ С.С., ЦИРКУНОВ П.Т. Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, Томская обл. О возможности бескислородной плазменной конверсии алканов в условиях барьерного разряда
11.00-11.15	БАРМИНОВА Е.Е., ЧИХАЧЕВ А.С. ¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ¹ ГНЦ Всероссийский электротехнический институт (ВЭИ), Москва Развитие неустойчивости Пирса-Бунемана в системе экстракции источника отрицательных ионов
11.15-11.30	КУЗНЕЦОВ А.Ю. Институт экологических, геофизических и радиационных технологий, Москва Теоретический анализ процессов в плазменном диоде с осциллирующими дейтронами
11.45-12.00	Перерыв на кофе
12.00-12.15	МЕЩЕРЯКОВА Е.А., ЗИБРОВ М.С., ХОДАЧЕНКО Г.В., КАЗИЕВ А.В. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Исследование параметров плазмы высокочастотного индукционного разряда методами зондов Ленгмюра и оптической эмиссионной спектроскопии
12.15 - 12.30	БОРИСЮК Ю.В., ПИСАРЕВ А.А., ХОДАЧЕНКО Г.В., РЯБЦЕВ С.А., КРАШЕВСКАЯ Г.В., КАЗИЕВ А.В., ТУМАРКИН А.В. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Режимы горения аномального тлеющего разряда внутри трубок с аспектным отношением 8-40
12.30-12.45	ТУМАРКИН А.В., КАЗИЕВ А.В., ИЛЬИЧЕВ И.В., КОЛОДКО Д.В., ХОДАЧЕНКО Г.В. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Осаждение покрытий из меди импульсным магнетроном с расплавленным катодом
13.00-13.15	ХАРЬКОВ М.М., КАЗИЕВ А.В., ТУМАРКИН А.В., ХОДАЧЕНКО Г.В. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Свойства покрытий из меди и титана, получаемых с помощью сильноточного импульсного магнетронного разряда

13.15-13.30	ПОПОВ В.Д., ГУТОРОВ К.М., СОРОКИН И.А. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Исследование топологии магнитного поля автоколебательного разряда
13.30-13.45	СОРОКИН И.А., ВИЗГАЛОВ И.В., ГУТОРОВ К.М., ПОДОЛЯКО Ф.С. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» О возможности диагностики микротечей воды с помощью автоколебательного разряда
13.45-14.00	СОРОКИН И.А., ВИЗГАЛОВ И.В., БИДЛЕВИЧ О. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» In-situ анализ ионного состава замагниченной плазмы
14.00-14.45	Обед
14.45-15.00	КОЛОДКО Д.В., МАМЕДОВ Н.В., СИНЕЛЬНИКОВ Д.Н., ХОДАЧЕНКО Г.В. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Создание источника газовых и металлических ионов для нанесения тонких пленок
15.00 - 15.15	ГАВРИКОВ А.В. ^{1,2} , ЛИЗЯКИН Г.Д. ¹ , СМЕРНОВ В.П. ¹ , УСМАНОВ Р.А. ^{1,2} ¹ Объединенный институт высоких температур РАН, Москва ² Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный Провисание потенциала на оси отражательного разряда в гелии
15.15-15.30	АНТОНОВ Н.Н. ¹ , ВОРОНА Н.А. ¹ , ГАВРИКОВ А.В. ¹ , САМОХИН А.А., СМЕРНОВ В.П. Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН), Москва ¹ Московский физико-технический институт МФТИ НИИ (ГУ), Долгопрудный Разработка источника плазмы модельного вещества для отработки метода плазменной сепарации
15.30-15.45	АНАНИН О.Б., БАШУТИН О.А., БОГДАНОВ Г.С., ВОВЧЕНКО Е.Д., ГЕРАСИМОВ И.А., ДВОЕГЛАЗОВ Я.М., МЕЛЕХОВ А.П., САВЕЛОВ А.С., РАЕВСКИЙ И.Ф., ФИЛИППОВ Е.Д. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ С ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМОЙ
15.45-16.00	Перерыв на кофе
16.00-16.15	ИГНАТЬЕВ Н.Г., КРАПИВА П.С., ИВАНОВ М.И., БОГОМОЛОВ В.И., СВЕТЛОВ Е.В., НЕСТЕРЕНКО А.О., КОРОТКОВ К.Е., МОСКАЛЕНКО И.Н., ЖУКОВ П.А., СУББОТИНА И.А. Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (ВНИИА), Москва Аппаратура для диагностики плазмы мишени мощной лазерной установки
16.15-16.30	БАЛОВНЕВ А.В., ВОВЧЕНКО Е.Д., ГРИГОРЬЕВА И.Г., ДОДУЛАД Э.И., САВЕЛОВ А.С., САЛАХУТДИНОВ Г.Х. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Источники рентгеновского излучения и ионной эмиссии в плазме сильноточного электрического разряда
16.30-15.45	ХИЛЬКО М.В. ^{1,2} , ВОЛКОВ Г.С. ² ¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ² ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Троицк Измерение размеров излучающей области сильноточного Z-пинча в диапазоне энергий квантов мягкого рентгеновского излучения
16.45-17.00	ДОДУЛАД Э.И., КОСТЮШИН В.А., САВЕЛОВ А.С. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Определение плотности плазмы, эмитируемой разрядом типа сильноточная низкоиндуктивная вакуумная искра, с помощью комплексной корпускулярной диагностики
17.00-17.20	САРАНЦЕВ С.А., ДВОЕГЛАЗОВ Я.М., РАЕВСКИЙ И.Ф. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Влияние величины разрядного тока сильноточной низкоиндуктивной

	вакуумной искры на размеры субмикронной структуры на поверхности электродов Оценки давления плазмы сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры на поверхность катода Модель формирования поверхностной структуры катода при взаимодействии с потоками плазмы сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры
17.20-17.35	САРАНЦЕВ С.А., РАЕВСКИЙ И.Ф. <i>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</i> Влияние материала электродов на эмиссионные свойства низкоиндуктивной вакуумной искры

18 конференция
«ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ»
Заседание №1

Четверг, 5 февраля

начало в 10.00

10.00 – 10.15	Е.Д. МАРЕНКОВ ¹ , С.И. КРАШЕНИННИКОВ ^{1,2} ¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ² Калифорнийский университет в Сан-Диего, США Испарение пылинок с большим атомным номером в пристеночной плазме токамака
10.15 – 10.30	С.А. КРАТ ¹ , Ю.М. ГАСПАРЯН ¹ , А.А. ПИСАРЕВ ¹ , М. МAYER ² , G. DE SAINT-AUBIN ² , I. BYKOV ³ , P. COAD ⁴ , J. LIKONEN ⁵ , W. VAN RENTERGHEM ⁶ , C. RUSET ⁷ , A. WIDDOWSON ⁴ , участники JET-EFDA ¹ Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ» ² Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Germany ³ Fusion Plasma Physics, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden ⁴ Culham Science Centre, Abingdon, United Kingdom ⁵ VTT, Association EURATOM-Tekes, Finland ⁶ Studiecentrum Voor Kernenergie, Centre D'etude De L'energie Nucleaire, Mol, Belgium ⁷ National Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics, Bucharest, Romania Эрозия и осаждение в диверторе JET в период экспериментальной кампании 2011-2012
10.30 – 10.45	А.А. АЙРАПЕТОВ, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.Н. ВОЙТЮК, В.П. ТЕРЕНТЬЕВ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Удаление перенапыленных бор-углеродных слоев
10.45 – 11.00	А.Н. ЩЕРБАК ¹ , С.В. МИРНОВ ¹ , В.Б. ЛАЗАРЕВ ¹ , Н.Т. ДЖИГАЙЛО ¹ , А.М. БЕЛОВ ¹ , А.В. ВЕРТКОВ ² , М.Ю. ЖАРКОВ ² , С.И. КРАВЧУК ¹ , И.Е. ЛЮБЛИНСКИЙ ² ¹ ФГУП ГНЦ РФ Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, Москва, Троицк ² ОАО «Красная Звезда», Москва Экспериментальные исследования переноса лития в тени продольного и вертикального литиевых лимитеров на токамаке T-11M
11.00 – 11.15	А.А. ПШЕНОВ ^{1,2} , А.А. ЕКСАЕВА ¹ , Е.Д. МАРЕНКОВ ¹ , С.И. КРАШЕНИННИКОВ ^{1,3} ¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ² НИЦ «Курчатовский институт», Москва ³ Калифорнийский университет Сан-Диего, США Моделирование экранирования поверхностей обращенных к плазме материалов под воздействием экстремальных потоков энергии
11.15 – 11.30	Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ, В.А. КУРНАЕВ, Н.В. МАМЕДОВ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Модификация наноструктурированной поверхности вольфрама при облучении ионным пучком
11.30 – 11.50	КОФЕ-БРЭЙК
11.50 – 12.05	Н.П. БОБЫРЬ ¹ , В.Х. АЛИМОВ ² , Б.И. ХРИПУНОВ ¹ , А.В. СПИЦЫН ¹ , А.В. ГОЛУБЕВА ¹ , М. МАЙЕР ³ ¹ НИЦ «Курчатовский институт», Москва ² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ³ Институт физики плазмы им. Макса Планка, Гархинг, Германия Влияние гелиевой примеси на обмен изотопов водорода в вольфраме при последовательном облучении дейтериевой и протий-гелиевой плазмой
12.05 – 12.20	А.Е. ЕВСИН, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, А.С. КАПЛЕВСКИЙ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Влияние облучения атомами дейтерия на транспорт изотопов водорода сквозь поверхностный оксидный слой циркония

12.20 – 12.35	М.С. ЗИБРОВ, Ю.М. ГАСПАРЯН, С.А. РЯБЦЕВ, А.С. ШУБИНА, А.А. ПИСАРЕВ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Термодесорбция дейтерия из точечных дефектов в вольфраме
12.35- 12.50	А.С. ПОПКОВ, С.А. КРАТ, Ю.М. ГАСПАРЯН, А.А. ПИСАРЕВ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Изучения взаимодействия литий-дейтериевых пленок с атмосферными газами
12.50 – 13.05	Д.А. ТРУФАНОВ ¹ , Е.Д. МАРЕНКОВ ¹ , С.И. КРАШЕНИННИКОВ ^{1,2} ¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ² Калифорнийский университет в Сан-Диего, США Роль диффузии адатомов вольфрама в росте вольфрамового пуха
13.05 – 13.25	КОФЕ-БРЕЙК
13.25- 13.40	В.С. ЕФИМОВ ¹ , Ю.М. ГАСПАРЯН ¹ , А.А. ПИСАРЕВ ¹ , И.Б. КУПРИЯНОВ ² ¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ² ОАО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. академика А.А. Бочвара», Москва Исследование накопления дейтерия в бериллии при облучении мощными импульсными потоками плазмы
13.40- 13.55	Ю.В. БОРИСЮК, А.А. ПИСАРЕВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО, Н.М. ОРЕШНИКОВА, А.В. ТУМАРКИН, М.М. БЕРДНИКОВА Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Азотирование титанового сплава ВТ-23 в аномальном тлеющем разряде
13.55- 14.10	И.Е. БОРОДКИНА, И.В. ЦВЕТКОВ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Расчет динамики заряженных частиц в пристеночном слое и распыления обращенных к плазме поверхностей

Заседание №2

Пятница, 6 февраля

начало в 10.00

10.10- 10.40	С.И. КРАШЕНИННИКОВ ^{1,2} , Р. Д. СМЕРНОВ ² ¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ² Университет Калифорнии Сан Диего, США He cluster dynamics in tungsten in the presence of cluster induced formation of He traps
10.40- 11.10	В.А. КУРНАЕВ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Обзор данных по взаимодействию плазмы с материалами в РФ для термоядерных исследований и технологий
11.10- 11.30	С.В. МИРНОВ ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Троицк, Москва Эволюция концепции стационарного токамака
11.30.- 11.50	А.В. ВЕРТКОВ ¹ , И.Е. ЛЮБЛИНСКИЙ ^{1,3} , М.Ю. ЖАРКОВ ¹ , С.В. МИРНОВ ^{2,3} , В.Б. ЛАЗАРЕВ ² , А.Н. ЩЕРБАК ² ¹ ОАО «Красная Звезда», Москва ² ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Троицк, Москва ³ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Разработка лимитеров на основе литиевых КПС для реализации концепции замкнутого литиевого цикла в токамаке
11.50- 12.10	Перерыв на кофе
12.10- 12.30	Ю.В. МАРТЫНЕНКО Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Эрозия металла при воздействии плазменных потоков, характерных для переходных режимов ИТЭР

12.30 - 12.50	В.Ю. ЦЫБЕНКО¹, И.М. ПОЗНЯК², В.М. САФРОНОВ³ ¹Московский физико-технический институт, Долгопрудный ²ФГУП ГНЦ РФ Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, Троицк, Москва ³Проектный центр ИТЭР, Москва Исследование движения расплавленного металлического слоя в условиях, характерных для переходных плазменных процессов в ИТЭР
12.50- 13.10	Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, С.В. ВЕРГАЗОВ, О.А. ДВОЙЧЕНКОВА, А.Е. ЕВСИН, А.С. КАПЛЕВСКИЙ, Я.А. САДОВСКИЙ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Транспорт водорода через оксидированную поверхность металлов при облучении атомами и ионном облучении
13.10- 13.30	О.В. ОГОРОДНИКОВА¹, В. ГАНН², М.С. ЗИБРОВ¹, Ю.М. ГАСПАРЯН¹, В.С. ЕФИМОВ¹ ¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» ²Национальный научный центр «Харьковский институт физики и технологии», Харьков, Украина Сравнение накопления дейтерия в W, предварительно поврежденном электронами, ионами вольфрама и нейтронами
13.30- 14.30	Перерыв на обед
14.30- 14.50	В.Л. БУХОВЕЦ¹, А.Е. ГОРОДЕЦКИЙ¹, Р.Х. ЗАЛАВУТДИНОВ¹, А.П. ЗАХАРОВ¹, Е.Е. МУХИН², А.Г. РАЗДОБАРИН² ¹Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва ²Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург Влияние малых примесей молекулярных газов на распыление вольфрама в низкотемпературной дейтериевой плазме
14.50- 15.10	Н.Н. ДЕГТЯРЕНКО, А.А. ПИСАРЕВ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Моделирование взаимодействия водорода с вольфрамом
15.10- 15.30	Б.И. ХРИПУНОВ¹, В.С. КОЙДАН¹, А.И. РЯЗАНОВ¹, В.М. ГУРЕЕВ, В.В. ЗАТЕКИН², С.Н. КОРНИЕНКО¹, В.С. КУЛИКАУСКАС², С.Т. ЛАТУШКИН¹, А.М. МУКСУНОВ, Е.В. СЕМЕНОВ, Л.С. ДАНЕЛЯН¹, В.Н. УНЕЖЕВ ¹Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва ²Научно-исследовательский институт ядерной физики, МГУ им. Ломоносова, Москва Исследование вольфрама как материала, обращенного к плазме ТЯР
15.30- 15.50	К.М. ГУТОРОВ, И.В. ВИЗГАЛОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО, И.А. СОРОКИН Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Осаждение пленок и их удаление в щелях и затененных от плазмы областях в присутствии ВЧ-полей

**ГODOVOЙ ОТЧЕТ ПО НИР
КАФЕДРЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ И ЛАБОРАТОРИИ «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
ПЛАЗМЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ И ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» НИЯУ МИФИ
ЗА 2015 г.**

23-й выпуск

*Под редакцией В.А. Курнаева
И А.А.Писарева*

Оригинал-макет подготовлен Шубиной А.С.

Подписано в печать 16.05.2016	Формат 60×84 1/8	
Уч.-изд. л. 8,0	Печ. л. 8,0	Тираж 100 экз.
Изд. № 004-2	Заказ 66	

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