

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор Акционерного общества «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований»,

д.ф.-м.н., профессор

В.Е. Черковец

Подпись

февраль 2017 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований» на диссертацию Капустина Юрия Владимировича «Разработка системы очистки первого зеркала в оптических диагностиках ИТЭР на основе разряда в полом катоде», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы».

Работа Капустина Юрия Владимировича посвящена экспериментальному моделированию и исследованию процесса очистки зеркал оптических диагностик термоядерного реактора ИТЭР плазмой газового разряда постоянного или импульсного тока.

В работе проведён многосторонний анализ специфических факторов, воздействующих на зеркала в условиях термоядерного реактора-токамака. Показано, что одним из наиболее опасных факторов с точки зрения сохранения работоспособности диагностики в течение всего периода эксплуатации является загрязнение зеркал оптического тракта, вызванное суммарным воздействием на отражающую поверхность атомов перезарядки, продуктов эрозии элементов реактора (Be, W, Fe, Ni и др.), тепловой

нагрузки и наличие течей в системе охлаждения установки, сопряжённое с проникновением в рабочую камеру кислорода и паров воды.

Актуальность работы обоснована необходимостью периодической очистки зеркал оптического тракта лазерных и спектральных диагностик от слоя загрязнения, возникновение которого приводит к деградации оптического качества зеркал: снижению зеркального отражения и росту диффузного рассеяния; что затрудняет работу диагностик. В настоящее время отсутствует апробированная на действующих установках и утверждённая в ИТЭР универсальная методика очистки зеркал, поэтому работы по решению данной проблемы имеют большое значение. Кроме того, в работе рассматривается важный вопрос об изменении оптических свойств металлических зеркал, длительное время находящихся в условиях облучения атомами дейтерия, трития и гелия, которые способны накапливаться в приповерхностном слое зеркал и приводить к возникновению блистеринга.

Для решения проблемы очистки зеркал автор предлагает использовать распыление отражающей поверхности ионами, вытягиваемыми из плазмы газового разряда постоянного или импульсного тока. В качестве рабочего газа предлагается использовать гелий, т.к. его присутствие в реакторе допустимо, а отношение коэффициента распыления молибдена (материал зеркал) к коэффициенту распыления бериллия (основное загрязнение) при характерных для очистки энергиях ионов гелия в несколько сот электрон-вольт составляет примерно 10, что обеспечивает высокую селективность очистки.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. В работе экспериментально исследовано изменение спектра зеркального отражения и диффузного рассеяния монокристаллических молибденовых зеркал при распылении отражающей поверхности ионами гелия и аргона. Произведена оценка динамики изменения данных спектров, что позволяет оценить ресурс зеркал. Так, при распылении зеркал в аргоне, даже при

толщине распылённого слоя примерно 4 мкм не наблюдается существенной деградации зеркал. В то же время, воздействие гелия приводит к постепенному росту величины диффузного рассеяния, что снижает контрастность изображения, получаемого диагностикой.

2. В работе экспериментально продемонстрирована возможность контроля наличия и состава загрязнения на зеркалах путём анализа вольт-амперной характеристики чистящего разряда, а также путём эмиссионной спектроскопии разряда. Данные методы контроля могут быть успешно использованы в термоядерных реакторах.
3. Экспериментально исследована равномерность очистки зеркал при функционировании системы очистки при отсутствии магнитного поля. Полученные данные использованы для подтверждения корректности проведённого численного моделирования.
4. Разработан метод магнетронного напыления равномерного по толщине покрытия из нитрида цинка, которое может быть использовано для экспресс-анализа равномерности процесса очистки за счёт специфического тёмного цвета и высокого коэффициента распыления.

Практическая значимость полученных в работе результатов

1. Продемонстрирована возможность очистки металлических зеркал от металлических и диэлектрических загрязнений, что соответствует основным типам загрязнений, которые могут сформироваться в ИТЭР. Это позволяет рассматривать предложенный подход как универсальный.
2. Разработаны инженерные основы для интеграции системы плазменной очистки на основе разряда постоянного или импульсного тока в оптические диагностики ИТЭР.
3. Выполнена разработка системы очистки первого и второго зеркал для каналов диагностики «Спектроскопия водородных линий», расположенных в экваториальных диагностических портах реактора

ИТЭР. Для этого разработана и испытана комбинированная разрядная ячейка, позволяющая проводить одновременную очистку двух зеркал.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается одновременным использованием нескольких независимых методик контроля, воспроизводимостью полученных результатов в ходе повторных экспериментов, а также хорошим согласием между результатами, полученными при численном моделировании процесса очистки и в ходе эксперимента.

Материалы, представленные в диссертации, апробированы на российских и международных конференциях и совещаниях, а также опубликованы в журналах из списка ВАК.

Рекомендации по использованию результатов работы.

В диссертационной работе Ю.В. Капустина представлены актуальные и значимые с практической точки зрения результаты, которые могут быть использованы при разработке и проектировании диагностических систем термоядерных реакторов и других установок, где функционирование сопряжено с необходимостью периодической очистки поверхности оптических элементов от загрязнения, например в астрономических телескопах, устанавливаемых на искусственных спутниках земли, и системах контроля в плазмохимических реакторах и вакуумных напылительных установках. Разработанные методики контроля состояния поверхности могут использоваться в ходе CVD и PVD процессов.

Результаты диссертации могут быть использованы в ГНЦ РФ ТРИНИТИ, НИЦ «Курчатовский институт», НИЯУ МИФИ, ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, в НИИЭФА им. Д. В. Ефремова, ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН, Проектном центре ИТЭР, а также в других организациях, использующих и разрабатывающих диагностики для плазменных установок.

Основные замечания и вопросы к диссертационной работе:

1. В Таблице 1 допущены неточности, касающиеся контролируемых параметров плазмы. Вероятно, это связано с использованием

основополагающих документов ИТЭР, которые в последующем не подвергались ревизии.

2. На Рис. 2.12 не описаны обозначения, показанные на рисунке цифрами.
3. В работе присутствует большое количество аббревиатур, которые, хоть и расшифрованы в глоссарии, помещённом в начале работы, но затрудняют её чтение.

Замечание к автореферату:

1. На Рис. 7 и 8 приведены сравнительные вольт-амперные характеристики двух типов разрядов. При этом на Рис. 7 вместо тока указана его плотность, что не соответствует понятию вольт-амперной характеристики и не позволяет провести сравнение этих характеристик для двух типов разрядов.

Заключение

Приведённые замечания не снижают общую положительную оценку выполненной работы, а также не влияют на научную и практическую значимость полученных результатов.

Исследования, изложенные в диссертации, свидетельствуют о высокой квалификации автора, а сама диссертация представляет собой законченную и самостоятельную работу. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Полученные результаты имеют широкую область для дальнейшего использования.


Работа удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель, Капустин Юрий Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы».

Настоящий отзыв рассмотрен и одобрен после доклада соискателя и обсуждения диссертации на заседании секции №3 «Физика импульсных,

твердотельных лазерных систем и плазменных ускорителей. Взаимодействия излучения мощных твердотельных лазеров и плазменных потоков с веществом» Научного совета Акционерного общества «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований» (протокол №1 от 06.02.2017 г.).

Отзыв составил:

Старший научный сотрудник
Отделения физики токамаков реакторов
Акционерного общества «Государственный
научный центр Российской Федерации
Троицкий институт инновационных
и термоядерных исследований»
Адрес: Россия, 108840, г. Москва, г. Троицк,
ул. Пушкиновых, вл. 12.
Факс: 8 495 841-57-76.
E-mail: tugar@triniti.ru.

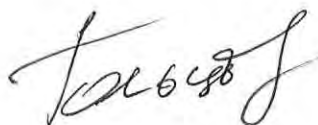
 С. Н. Тугаринов

Председатель секции
д-р. физ.-мат. наук, профессор



М. И. Пергамент

Секретарь секции
д-р. физ.-мат. наук, профессор




А. Ю. Гольцов

Подписи С.Н. Тугаринова М. И. Пергамент и А. Ю. Гольцова заверяю

Учёный секретарь АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»

канд. физ.-мат. наук



 А.А. Ежов

02 _____ 2017 г.