

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Ерискина Александра Александровича
«Воздействие высокотемпературной импульсной плазмы на
физико-механические свойства композиционных структур»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

Актуальность избранной темы.

В настоящее время весьма важной проблемой в физике конденсированного состояния является радиационная стойкость материалов первой стенки и дивертора термоядерного реактора (ТЯР) с магнитным удержанием плазмы. Материалы этих конструкций должны работать в жестких условиях воздействия потоков ионизирующих излучений (ионы изотопов водорода и гелия, высокоэнергетические нейтроны), а также термоциклических нагрузок, обусловленных цикличностью режима горения плазмы. Наибольшие тепловые нагрузки в процессе горения плазмы до 20 МВт/м^2 ожидаются на приемные пластины дивертора, на первую стенку $0,5 \text{ МВт/м}^2$. При этом флюенс нейтронного потока может достигать весьма больших значений (до 10^{28} н/м^2). Материалы, обращенные к плазме в ТЯР, будут подвергаться интенсивному воздействию ионов изотопов водорода и гелия, а также распыленных атомов материалов компонентов конструкции, контактирующих с плазмой, с непрерывным энергетическим спектром в широком интервале энергий. Критическим вопросом для осуществления управляемой термоядерной реакции является чистота плазмы от примесей, излучение на которых способно охладить ее ниже порога горения. Следует особо отметить, что для реакторов с магнитным удержанием плазмы, работающих в циклическом режиме, характерным видом воздействия на материалы первой стенки и дивертора являются срывы плазмы, достигающие по оценкам удельной мощности до 10 МВт/см^2 , что может вызвать сильные локальные оплавления поверхности, растрескивание, кипение и испарение материала. Такие виды повреждений, в конечном итоге, могут привести к ухудшению эксплуатационных свойств и даже выводу узлов реактора из

строю. В связи с вышеизложенным резко возрастает интерес к имитационным исследованиям воздействия термоядерной плазмы на кандидатные материалы ТЯР, в особенности это относится к имитации срыва плазмы на обращенные к ней элементы конструкции. В данном аспекте весьма перспективным представляется использование для имитационных испытаний установок типа «Плазменный фокус»; параметры генерируемой высокотемпературной плотной плазмы в процессе работы такого типа установок близки к ожидаемым параметрам срыва плазмы на первую стенку и дивертор ТЯР. Использование установок типа «Плазменный фокус» в связи с необычностью условий воздействия (интенсивное атомное перемешивание облучаемых композиций в совокупности с мощной ударной волной) может оказаться также перспективным для получения высокоадгезионных прочных покрытий, а также, что уж совсем необычно, для создания новых сплавов, состоящих из компонент взаимно нерастворимых в обычных условиях. Настоящая работа посвящена исследованию вышеперечисленных важных, а порой и совсем не исследованных, процессов, поэтому **ее актуальность является несомненной.**

Научная новизна.

В работе получен ряд новых, а в некоторых случаях пионерских принципиально важных, научных результатов. Анализируя их научную новизну необходимо прежде всего отметить наиболее значимые достижения:

1. Принципиально новым методом (интенсивное перемешивание атомов пленки и подложки, усиленное проходящей ударной волной) получены высокоадгезионные высокопрочные пленочные покрытия на диэлектрических подложках, исследованы их структура, элементный состав и физико-механические свойства (оптические, электрические, микротвердость, адгезия).

2. Экспериментально, с использованием метода резерфордского обратного рассеяния, продемонстрировано, что в зависимости от параметров плазменного облучения и вида внедряемых при плазменной имплантации атомов можно получать композиционные структуры со слоевым распределением по глубине легирующих элементов.

3. Продemonстрировано, что меняя режимы высокоэнергетического плазменного облучения и пострadiационного отжига, можно получать

структуры пленка-подложка (на примере композиции титан-стекло) с различным типом электропроводности (диэлектрический, металлический).

4. Впервые в специфических условиях высокоэнергетического воздействия дейтериевой плазмы обнаружен эффект дальнего действия сверхглубокого (на порядок величины), по сравнению с теоретически расчетным, проникновения дейтерия и примесного водорода в конструкционные материалы (Ti, Zr, Nb, Ta, W); предложен адекватный физический механизм наблюдаемого явления, связанный с воздействием мощных ударных волн и радиационно-усиленной диффузией газовых атомов в облучаемой мишени.

5. С использованием высокоэнергетического импульсного плазменного воздействия получены сплавы из термодинамически не смешиваемых в обычных условиях компонентов (Nb-Cu, W-Cu, W-Ag); предложен достоверный физический механизм, объясняющий данный результат процессами баллистического, недиффузионного атомного перемешивания.

Достоверность полученных в диссертации данных, подтвержденная логично выстроенной структурой исследований, использованием разнообразных современных методов анализа, высокочувствительных измерительных приборов для получения хорошо согласующихся между собой экспериментальных результатов и практической реализацией, не вызывает сомнений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, достаточно полно обоснованы полученными экспериментальными данными, а также последовательным подходом к изложению материала, соответствуют современным представлениям физики конденсированного состояния и радиационного материаловедения. Результаты, полученные автором, воспроизводимы, получены с использованием высокочувствительных методов исследования. В связи с высокой степенью достоверности полученных в работе результатов, обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, на мой взгляд, не вызывает сомнений. В целом, диссертационная работа отличается внутренним единством; заключения, выводы и рекомендации, сделанные на основе результатов

проведенных исследований, научно обоснованы и являются следствием полученных новых экспериментальных данных.

Практическая значимость работы.

Практическая значимость результатов многогранна. В частности, она заключается в получении новых сплавов (ниобий-медь, вольфрам-медь, вольфрам-серебро), которые невозможно получить обычными термическими методами в связи с отсутствием взаимной растворимости компонентов в нормальных условиях. Данный результат может явиться основой для развития научно-технического направления получения не известных ранее сплавов с возможными уникальными свойствами (сочетающих, например, тугоплавкость вольфрама и высокую теплопроводность меди). Важным практическим аспектом работы является демонстрация получения с использованием высокоэнергетической плотной плазмы высокоадгезионных

прочных металлических покрытий на диэлектрических подложках. Помимо высоких механических свойств, данные покрытия отличаются однородностью распределения вводимых плазменной имплантацией элементов; кроме того, возможно получение слоевого распределения элементов и переменного характера электропроводности. Наконец, обнаруженный в работе эффект сверхглубокого проникновения изотопов водорода в облученные высокотемпературной плазмой конструкционные материалы, рассматриваемые в качестве перспективных для использования в ТЯР (вольфрам, цирконий, ниобий, никель и др.), необходимо учитывать при прогнозировании их работоспособности в натуральных условиях, поскольку расширение области, оккупированной газовыми атомами, может повлечь за собой ряд нежелательных объемных эффектов (усиление газового распухания, провоцирование водородной и радиационно-стимулированной хрупкости и др.). Хотелось бы также отметить, что диссертант при выполнении работы продемонстрировал незаурядную конструкторскую подготовку. Им был предложен и реализован ряд приспособлений и технических усовершенствований сложной конструкции установки «Плазменный фокус» ПФ-4 комплекса «Гюльпан», что позволило провести уникальные эксперименты, в частности по получению однородных высокопрочных покрытий, а также сплавов из несмешивающихся химических элементов, в связи с чем были получены патент на полезную модель и справка о практическом внедрении от Физического института

им. П.Н. Лебедева РАН, подтверждающая успешное использование разработанных устройств в проводимых Институтом научных экспериментах.

Замечания по диссертации.

1. Процесс напыления пленок на установке «Плазменный фокус» ПФ-4 достаточно длительный, что осложняет его практическое использование.

2. На стр. 97 диссертации указано, что использование диафрагмы из алюминия приводит к загрязнению пленок алюминием, поэтому диафрагму следует выполнять из металла, который напыляется на подложку. Однако в эксперименте, связанном с напылением пленок (стр. 111), используются экраны из дюралюминия.

3. В работе (стр. 151) обнаружено обратное проникновение дейтерия из дейтерированного полиэтилена в обращенную к плазме при облучении первую в стопке титановую фольгу, но не дано объяснение данному экспериментальному факту.

4. В тексте диссертации встречаются неудачные выражения и термины. Например: стр. 115 – «Размер области с повышенной концентрацией примесей не превышает $\varnothing 2 \div 3$ мм»; стр. 95 – «пленки оптического качества»; стр. 104 – «тонкие оптические пленки».

Отмеченные в отзыве замечания не снижают научной и практической ценности выполненной работы.

Диссертация Ерискина Александра Александровича является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, связанные с установлением закономерностей изменения физико-механических свойств композиционных структур при воздействия высокотемпературной импульсной плазмы, разработкой технологических методов получения композиционных структур из термодинамически несмешивающихся нерастворимых друг в друге материалов и получения высокопрочных однородных композиционных металлических покрытий на диэлектрических подложках со сменным характером электропроводности, имеющие существенное научное и практическое значение.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Основные результаты диссертации опубликованы в 26 печатных работах (из них 4 статьи в центральных научных журналах,

рекомендованных ВАК, и патент на полезную модель), неоднократно докладывались и обсуждались на международных и российских конференциях и получили одобрение ведущих специалистов в данной области.

По актуальности, степени новизны, научной и практической значимости полученных результатов диссертация Ерискина Александра Александровича полностью отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор заслуживает присуждения искомой степени по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент Волков Николай Викторович,
доктор физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры «Физические проблемы материаловедения»
Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

_____ Н.В. Волков

Я согласен на обработку моих персональных данных.

Почтовый адрес:
115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31.
Тел.: +7 (495) 788–56–99
E-mail: nvvolkov@mail.ru

Подпись удостоверяю
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИЯУ МИФИ

Валентина Александровна Ерискина
28.11.2017