

Министерство образования и науки
Российской Федерации

УТВЕРЖДАЮ

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«Московский физико-технический институт
(государственный университет)»
(МФТИ)

Проректор по исследованиям и
разработкам

_____ Гаричев С.Н.

Юридический адрес: 117303, г. Москва,
ул. Керченская, дом 1 «А», корпус 1
Почтовый адрес: 141700, Московская обл.,
г. Долгопрудный, Институтский переулок, 9
Тел.: 408-57-00, факс: 408-68-69

22. 11. 2017 № 8, 18-03/6796
на № _____ от _____

« 20 » ноября 2017г.

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГАОУ ВПО «Московский физико-технический институт (государственный университет)» на диссертацию Ерискина Александра Александровича «Воздействие высокотемпературной импульсной плазмы на физико-механические свойства композиционных структур», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Актуальность работы. Диссертационная работа Ерискина А.А. посвящена решению одной из фундаментальных задач физики конденсированного состояния – исследованию взаимодействия заряженных частиц с твердым телом в высокотемпературной плазме. Острая необходимость такого рода исследований в настоящее время обусловлена наличием важной проблемы устойчивости конструкционных и функциональных материалов под действием высокоэнергетических плазменных потоков в условиях нештатных ситуаций на первой стенке и диверторе термоядерного реактора. Весьма важно, что в работе используется

установка «Плазменный фокус», энергетические параметры которой близки (по мощности воздействия) к предельным и запредельным энергетическим параметрам плазмы в термоядерном реакторе. Специфическое воздействие плазмы, генерируемой в установках такого типа (ион-атомные и атом-атомные столкновения, каскадное перемешивание, а также одновременное прохождение по объему облучаемого материала создаваемой плазменным излучением ударной волны) мотивирует использование данного вида воздействия для создания высокопрочных композиционных покрытий, а также структур из термодинамически не растворимых при обычных условиях друг в друге компонентов. В связи с вышесказанным тема диссертации А.А.Ерискина является вполне актуальной.

Научная новизна результатов работы не вызывает сомнений. Автором получен ряд важных научных и практических результатов, среди которых необходимо отметить следующие:

- созданы высокопрочные покрытия на диэлектрических подложках, отличающиеся однородностью и повышенной адгезией, и изучены их физико-механические свойства (оптические, электрические, механические); разработаны методики и получены оптимальные режимы нанесения покрытий;
- показано, что, меняя режимы плазменного облучения, можно изменять электропроводность покрытия – от диэлектрической до металлической;
- с помощью метода Резерфордского обратного рассеяния показано, что при высокоэнергетическом плазменном облучении возможно получение покрытий со слоевым распределением элементов (в частности, вольфрама, меди, углерода) по глубине мишени;
- впервые при облучении высокотемпературной дейтериевой плазмой ряда конструкционных материалов (титан, никель, цирконий, ниобий, тантал, вольфрам) обнаружен эффект дальнего действия, предложен физический механизм, адекватно объясняющий явление сверхглубокого проникновения дейтериевых атомов в облучаемые материалы;

- при воздействии высокоэнергетических плазменных импульсов определены режимы для получения сплавов из компонентов, не имеющих взаимной растворимости в обычных условиях (Nb-Cu, W-Cu, W-Ag).

Достоверность результатов работы определяется использованием разнообразных независимых и взаимодополняющих параллельных хорошо апробированных методов исследования (растровая электронная микроскопия с микрорентгеновской приставкой для элементного анализа, спектрофотометрия, рентгеноструктурный анализ, метод непрерывного индентирования (кинетической твердости), четырехзондовый метод измерения вольт-амперных характеристик, методы Резерфордского обратного рассеяния и анализа упруго рассеянных ядер отдачи) и хорошо согласуются с известными экспериментальными и теоретическими данными других авторов.

Значимость результатов диссертации для науки и практики определяется тем, что они позволяют лучше понять процессы, определяющие взаимодействие высокотемпературной плазмы с материалами, изменение их физико-механических свойств и глубины воздействия излучения на материал в зависимости от параметров плазмы, типа материала, а также композиции пленка-подложка при получении покрытий. Следует отметить, что нетривиальные условия создания покрытий, связанные с интенсивным атомным перемешиванием в облучаемой системе при плазменном воздействии, обеспечивают их повышенную адгезию, высокую прочность. Кроме того, в условиях воздействия высокотемпературной плазмы, меняя параметры облучения, можно обеспечить создание структур со сменным характером электропроводности, а также слоевых структур, что недостижимо в традиционно используемых практических методах нанесения при низких скоростях осаждения атомов, в том числе и диффузионных. Несомненным практически значимым достоинством предложенного плазменного метода нанесения покрытий является то, что при его использовании не требуется применения дополнительной химико-термической обработки, которая обычно

используется для улучшения адгезии пленок с подложкой после их получения другими распространенными способами, такими как термическое осаждение, магнетронное распыление, методы химического и электролитического осаждения. Высокую значимость имеют впервые полученный в работе при воздействии высокоэнергетической дейтериевой плазмы эффект дальнего действия в ряде важных для термоядерной энергетики материалах (вольфрам, никель, цирконий, титан, ниобий). Данный результат требует нового подхода к прогнозированию поведения материалов в условиях работы токамака; в частности, помимо обычно рассматриваемых эффектов, инициируемых термоядерной плазмой в поверхностных и приповерхностных слоях материалов (распыление, блистеринг), необходимо учитывать также и возможное усиление благодаря обнаруженному в работе эффекту дальнего действия процесса газового распухания на больших глубинах и соответственно ухудшения прочностных свойств облучаемого материала. Особо следует остановиться на несомненной значимости полученных в работе пионерских результатов по созданию при высокоэнергетическом плазменном воздействии сплавов из компонентов, не обладающих взаимной растворимостью (Nb-Cu, W-Cu, W-Ag). В специфических условиях облучения происходит интенсивное баллистическое перемешивание атомов смешиваемых компонентов, например, вольфрама и меди (серебра), практически не зависящее от времени облучения, усиливающееся сопровождающимся импульсом ударной волны. Данные результаты могут явиться основой нового научного направления - создания уникальных сплавов из термодинамически несмешивающихся в обычных условиях компонентов. Развитие начатых в работе исследований может привести к практическому получению новых, ранее неизвестных сплавов с уникальными свойствами.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации.

Различные усовершенствования установки «Плазменный фокус-4» комплекса «Тюльпан», в том числе защищенные патентом на полезную

модель, уже успешно используются в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН при проведении научных экспериментов, что подтверждено справкой о внедрении из этого института. Полученные в диссертационной работе результаты можно рекомендовать к практическому использованию при разработке различных технологических процессов получения покрытий с заданным типом электропроводности и необходимым комплексом физико-механических свойств. Результаты работы, связанные с обнаруженным эффектом дальнего действия в конструкционных материалах при воздействии высокоэнергетической дейтериевой плазмы, рекомендуется использовать в организациях, занимающихся разработкой материалов для ядерных реакторов (ГНЦ РФ ВНИИНМ им. А.А.Бочвара, НИИ атомных реакторов (г.Димитровград), ГНЦ РФ «Курчатовский институт», НИИ ЭФА им.Д.В.Ефремова, ГНЦ РФ ФЭИ им.А.И.Лейпунского, Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова РАН и др.), а также осуществляющих подготовку специалистов данного профиля (Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Национальный исследовательский университет МЭИ (Московский энергетический институт), Московский физико-технический институт (государственный университет), Санкт-Петербургский государственный технический университет и др.).

Замечания по диссертационной работе.

1. Метод получения тонких пленок на диэлектрической подложке с помощью плазменного потока, создаваемого в установке типа «Плазменный фокус» (в данном случае ПФ-4), связан с неконтролируемым введением в наносимую пленку примесных загрязнений – W, Cu, C и др. Данное обстоятельство может явиться причиной ухудшения физико-механических характеристик получаемых данным методом пленок.
2. На стр. 99 диссертации указано, что металлический характер пленки Ti подтверждается характерным уменьшением коэффициента пропускания в длинноволновой области спектра и этому соответствует кривая 3 на

рис. 3.9. Но почему тогда кривая 4 тоже, по мнению автора, характеризует металлическую электропроводность пленки титана? Ведь в данном случае τ в длинноволновой части спектра не уменьшается.

3. (с.143-144 диссертации): Для получения более достоверной информации о распределении дейтерия и водорода в облученном вольфраме следовало бы исследовать переднюю, обращенную к плазме поверхность первой фольги из стопки, а не вторую, следующую за ней фольгу из стопки образцов.
4. (с.147 диссертации): В диссертации не получил объяснения, казалось бы, парадоксальный экспериментальный результат, что с увеличением количества плазменных импульсов глубина проникновения водорода в образцах вольфрама не увеличивается, а уменьшается.
5. Стиль изложения работы местами корявый. Например, на стр. 106, 107 содержится набор коротких безличных предложений, что затрудняет чтение диссертации; встречаются неточные определения, например (с.111), «...исходя из ранее проведенных экспериментов на установке ПФ-4, было выбрано сечение трубок-мишеней диаметром (!) 14 мм».

Однако отмеченные недостатки носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

Общее заключение. Диссертация Ерискина Александра Александровича является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе проведенных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения, связанные с выявлением закономерностей изменения физико-механических свойств и структуры конструкционных материалов в результате воздействия высокотемпературных импульсных плазменных потоков, разработкой технологических методов создания композиционных структур из несмешивающихся материалов и получения прочных высокоадгезионных композиционных металлических покрытий на диэлектрических подложках с

однородной структурой, имеющие существенное научное и практическое значение.

Все основные результаты работы опубликованы в четырех научных изданиях из Перечня ВАК и докладывались на международных и всероссийских конференциях, также получен патент на полезную модель. Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации.

По актуальности, степени новизны, научной и практической значимости полученных результатов диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., 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.

Диссертационная работа Ерискина А.А. обсуждена на заседании научного семинара вакуумная электроника «15» ноября 2017 г. (протокол № 2).

Отзыв составил:

Шешин Евгений Павлович,

Заслуженный профессор,

Д.ф.-м.н., зам. зав. кафедры вакуумная электроника

Шешин Е.П.

Почтовый адрес: 141701, Моск. обл.

г. Долгопрудный, ул. Институтский пер. д.9

Тел.: 8-495-408-59-44

e-mail: sheshin@mail.mipt.ru