РЕЦЕНЗИЯ

на диссертационную работу Алдабергеновой Тамары Мустафаевны **«Исследование деградации структуры и физико-механических свойств графита и вольфрама под воздействием облучения потоками плазмы и заряженных частиц»**, представленную на соискание ученой степени доктора философии Ph.D по специальности 6D071000 – Материаловедение и технология новых материалов

Диссертационная работа Т.М. Алдабергеновой посвящена исследованиям воздействия потоков заряженных частиц и импульсного выделения энергии на структуру и свойства вольфрама и графита, являющихся перспективными материалами защиты обращенных к плазме материалов термоядерных реакторов.

1. **Актуальность темы исследования и ее связь с общенаучными и общегосударственными программами.**

Исследования воздействия термоядерной плазмы на структуру и свойства вольфрама является актуальной задачей современного радиационного материаловедения. В настоящее время ведется сооружение реактора ИТЕР - прототипа энергетических термоядерных реакторов ближайшего будущего. В связи с этим материаловедческие проблемы, обеспечивающие функционирование ТЯР приобретают первостепенное значение, поскольку материалы внутрикамерных устройств ТЯР подвержены воздействию мощных импульсных выделений энергии на их поверхности, бомбардировке нейтронами и заряженными частицами. Выбор таких материалов представляет собой сложную задачу, т.к. они должны удовлетворять ряду требований – высокая радиационная и термическая стойкость, высокая теплопроводность, низкий коэффициент распыления поверхности, низкая наведенная радиоактивность при облучении нейтронами и заряженными частицами и др. Основным предметом исследований в диссертационной работе Алдабергеновой Т.М. является высокочистый вольфрам, так как по современным представлениям именно этот материал является основным кандидатом для изготовления пластин дивертора реактора ИТЕР и энергетических ТЯР. Этим определяется актуальность, практическая и научная ценность полученных в диссертации результатов.

Диссертационной работе выполнены в рамках научно-технической программы «Научно-техническая поддержка создания и эксплуатации казахстанского термоядерного материаловедческого реактора токамак». Полученные в работе результаты будут востребованы при проведении исследовательских работ на введенной в эксплуатацию установке КТМ в Национальном ядерном центре Республики Казахстан.

2. **Научные результаты в рамках требований к диссертации (пп. 127 от 31.03.11 г., Правила присуждения ученых степеней).**

Основными результатами работы являются:
- Методика экспериментального измерения коэффициента распыления металлических материалов, основанная на определении толщины распыленного слоя методом Резерфордовского обратного рассеяния.
- Результаты экспериментальных измерений коэффициента распыления вольфрама в зависимости от флюенсаоблучения ионами аргона.
- Результаты экспериментальных и теоретических исследований воздействия импульсного электронного облучения на эрозию поверхности и деградацию механических свойств вольфрама DFW.
- Результаты экспериментальных и теоретических исследований деградации структуры поверхности и накопления гелия в вольфраме DFW, облученном низкоэнергетическими альфа-частицами до высоких флюенсов.
- Результаты экспериментальных исследований воздействия импульсного плазменного облучения на эрозию АРВ графита.

3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного результата (научного положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации.

Достоверность положений, выносимых на защиту, выводов и заключения соискателя не вызывает сомнения, поскольку в ходе выполнения исследований диссертантом использовались апробированные экспериментальные методики: сканирующая электронная и атомно-силовая микроскопии, Резерфордовское обратное рассеяние, измерение микро- и нанотвердости и др. Прослеживается хорошая связь между экспериментальными данными и теоретическими моделями расчетов потери массы при импульсном выделении энергии на поверхности.

Основные результаты исследований по теме диссертационной работы представлены в 15 научных работах, 8 из которых опубликованы в трудах международных конференций, 4 статьи в изданиях, рекомендованных ККСОН для диссертаций на степень доктора PhD, две статьи индексируемые в базе данных Web of Science и одна статья с импакт-фактором по базе данных Web of Science.

4.Степень новизны каждого научного результата (положения), выводов соискателя, сформулированных в диссертации.

В диссертационной работе впервые получены следующие результаты:
- Разработана методика экспериментального измерения коэффициента распыления металлических материалов, основанная на определении толщины распыленного слоя методом Резерфордовского обратного рассеяния.

- Экспериментально измерен коэффициент распыления вольфрама в зависимости от флюенса облучения ионами аргона. Показано, что с увеличением флюенса коэффициент распыления растет.
- Экспериментально измерены потери массы вольфрама DFW, облученного импульсным электронным пучком. Разработана теоретическая модель, учитывающая тепловое излучение и фазовые превращения при термическом воздействии для оценок потери массы при импульсном выделении энергии на поверхности. Рассчитаны потери массы вольфрама DFW при облучении импульсными электронами, согласующиеся с экспериментальными результатами.
- Изучена эволюция блистеринга поверхности вольфрама, показано, что при температуре отжига 800 ^{0}C начинается отслаивание имплантированного гелием слоя, а при 1000 ^{0}C имплантированный гелием слой, соответствующий пробегу альфа-частиц с энергией 45 кэВ, полностью отслаивается. Выявлены эффекты изменения механических свойств (твердость), связанные с накоплением гелия при облучении альфа-частицами и при последующих отжигах.
- Исследована кинетика десорбции гелия из облученного низкоэнергетическими альфа-частицами вольфрама при термическом воздействии и установлены формы накопления гелия.

5. Практическая и научная значимость полученных результатов.

Полученные научные результаты имеют высокую практическую значимость:
- Разработанная методика экспериментального измерения коэффициента распыления металлических материалов, основанная на определении толщины распыленного слоя методом Резерфордовского обратного рассеяния применима для широкого круга материалов, в том числе композитных многокомпонентных материалов.
- Полученные в работе результаты комплексных исследований деградации структуры и физико-механических свойств вольфрама DFW под воздействием облучения потоками плазмы и заряженных частиц являются основой для рекомендаций по использованию вольфрама DFW в качестве материала диверторных устройств реактора ИТЕР и энергетических ТЯР.
- Расчеты степени деградации свойств материалов под действием облучения потоками плазмы и заряженных частиц с использованием разработанных теоретических моделей позволят существенно ограничить круг материалов перспективных для защиты первой стенки и изготовления диверторных устройств.
- Разработанные экспериментальные методики будут способствовать эффективному решению материаловедческих задач с использованием Казахстанского реактора КТМ.

6. Замечания и предложения по диссертации:

1. В диссертационной работе исследованиям графита уделено значительно меньше внимания, чем вольфраму.
2. В работе не указана точность измерения толщины распыленного слоя с применением метода Резерфордовского обратного рассеяния.
3. В работе используются образцы вольфрама разных толщин и в связи с этим нет оценки тепературы образцов в процессе облучения.
4. В работе встречаются стилистические ошибки.

В целом диссертационная работа производит положительное впечатление, высказанные замечания ни в коей мере не снижают высокой оценки работы и относятся скорее к представлению результатов исследований.

7. Соответствие содержания диссертации в рамках требований Правил присуждения ученых степеней

На основании выше изложенного считаю, что диссертационная работа Алдабергеновой Тамары Мустафаевны на тему «Исследование деградации структуры и физико-механических свойств графита и вольфрама под воздействием облучения потоками плазмы и заряженных частиц» представленная на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071000 – «Материаловедение и технология новых материалов» выполнена на высоком научном и методическом уровне и представляет собой законченное и систематическое научное исследование.

По объему и содержанию диссертация отвечает требованиям «Правила присуждения ученых степеней» Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК и соответствует паспорту указываемой специальности, а сам соискатель Алдабергенова Т.М. заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Доктор физико-математический наук,
зав. кафедрой Высшей математики и физики Алматинского Технологического университета. Алиев Б.А