

ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.07 о диссертации
Чан Ми Ким Ан «Моделирование формирования и воздействия
концентрированных потоков заряженных частиц на металлы»,
представленной на соискание учёной степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.20 – физика пучков
заряженных частиц и ускорительная техника

Оценка актуальности темы диссертационной работы

Научное сообщество по-прежнему активно занимается разработкой новых методов энергетического воздействия на материалы с целью направленного модифицирования их свойств и получения новых структур. При этом мощные пучки заряженных частиц рассматриваются как один из наиболее перспективных инструментов. В последнее время исследователи научных лабораторий Томска научились генерировать высокоинтенсивные низкоэнергетические пучки ионов и электронов в ранее неосвоенном диапазоне параметров, которые представляются весьма перспективными для многочисленных материаловедческих задач. При этом очень важно решить задачу транспортировки этих пучков, выявить закономерности процессов, происходящих при их воздействии на твёрдое тело, определить их оптимальные параметры для обеспечения устойчивой и эффективной обработки материалов и изделий. Именно эти задачи и являются предметом исследований в диссертационной работе Чан Ми Ким Ан.

Основные результаты диссертационного исследования представляются следующими. Во-первых, определены оптимальные условия плазменно-иммерсионного формирования и транспортировки низкоэнергетических ионных пучков с баллистической фокусировкой. Во-вторых, построена математическая и численная модель процессов азотирования при облучении металлов высокоинтенсивным пучком ионов азота с низкими энергиями. В-третьих, выполнено исследование эволюции температуры в металлических мишенях (на примере алюминия, титана, а также алюминиевого образца с титановым покрытием) под действием низкоэнергетического импульсного электронного пучка.

Диссертация представлена на 107 страницах. Она состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературных источников из 100 наименований и трёх приложений.

Текст диссертации и публикации, в которых содержатся результаты этой работы, свидетельствуют о том, что она в значительной степени

выполнена автором. Некоторые исследования проводились совместно с коллегами, что отражено в опубликованных статьях и ссылках на них в тексте диссертации.

Оценка степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, достоверности полученных результатов

Научные положения, вынесенные на защиту, базируются на систематическом изучении процессов плазменно-иммерсионного формирования высокоинтенсивных пучков ионов, а также тепловых и диффузионно-кинетических явлений в приповерхностных слоях металлов при облучении высокоинтенсивными низкоэнергетическими ионными и электронными пучками. Основные результаты диссертационной работы получены с помощью численного моделирования. При этом выполнено обширное сопоставление рассчитанных зависимостей с экспериментальными данными из научной литературы. Хорошее согласие результатов расчётов и экспериментов, а также систематический характер исследований свидетельствуют о достоверности полученных закономерностей, высокой степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Новизна полученных результатов видится в следующем.

1. Выявленные закономерности и условия плазменно-иммерсионного формирования, фокусировки и транспортировки высокоинтенсивных (на уровне 500 мА/см^2) низкоэнергетических (единицы кэВ) ионных пучков, генерируемых на основе плазмы непрерывного вакуумно-дугового разряда, являются новыми.
2. Диффузионная математическая модель многофазного твердого тела, учитывающая распыление его поверхности ионами пучка, обладает научной новизной. Полученные с её помощью зависимости формирования ионно-модифицированных слоев стали 40X от плотности тока низкоэнергетических ионов азота являются новыми.
3. Данные об эволюции тепловых процессов на поверхности металлических образцов (на примере алюминия, титана, а также алюминиевой мишени с титановым покрытием) под действием импульсного низкоэнергетического электронного пучка с плотностью энергии $8...20 \text{ Дж/см}^2$, являются новыми.

Разработанные методики расчётов, полученные закономерности, сделанные выводы и рекомендации могут быть использованы в научных исследованиях и на практике при оптимизации и управлении режимами плазменной, ионно- и электронно-пучковой обработки материалов целенаправленного формирования модифицированных слоев.

Основные результаты исследования опубликованы в 11 печатных работах, из которых 7 статей в журналах, индексируемых международными базами данных (Web of Science, Scopus), 1 статья в отечественном рецензируемом журнале, входящих в перечень ВАК РФ. Публикации

отражают основные результаты и выводы диссертации. Основные положения апробированы на научных конференциях разного уровня.

Замечания по диссертации

1. Математическая модель диффузии в главе 3 представлена довольно небрежно. Не все параметры описаны. Например, осталось неясным, какой физический смысл у эффективного коэффициента теплообмена в уравнении (3.3). Где здесь скорость распыления? Нет ссылок на литературу, из которой взята формула (3.6), представляющая аналитическое решение системы (3.2)-(3.5). Нет ясного описания перехода от математической модели диффузии в разделе 3.1 к более конкретной модели азотирования, представленной в разделе 3.2.

2. Не описан метод решения системы дифференциальных уравнений (3.18) для изменения толщины модифицируемых слоёв облучаемого образца. Нет ссылок на литературные источники, из которых были взяты значения коэффициентов диффузии при выполнении расчётов.

3. В разделе 3.2.3 заявлено, что было выполнено моделирование тепловых процессов в образце для задачи азотирования под действием высокоинтенсивного ионного пучка, но нет описания самой математической модели и метода решения этой задачи. Вообще нет ясности, для чего выполнялись эти расчёты, так как их результаты больше нигде не используются, и по ним не сделаны какие-либо выводы, имеющие значение для решения рассматриваемых задач.

4. Текст диссертации довольно тяжело читается. Имеет место некорректное использование некоторых терминов (например, вместо «распыления» поверхности часто используется «рассеяние»; «динамика температуры» вместо общепринятого научного понятия «эволюция температуры»).

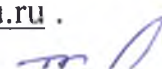
Заключение

Отмеченные замечания не снижают ценности выполненной работы и полученных результатов. Автореферат полностью отражает содержание диссертации, основные результаты и выводы по работе. Публикации автора достаточно полно это представляют. Диссертация хорошо апробирована. Результаты исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы. Поставленные цели исследований и основные задачи соответствуют полученным результатам.

Считаю, что диссертационная работа Чан Ми Ким Ан отвечает всем критериям, установленным требованиями п.п. 8-12 Порядка присуждения учёных степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (Приказ № 93/од от 06.12.2018 г.).

Основываясь на вышеизложенном, считаю, что диссертационная работа «Моделирование формирования и воздействия концентрированных потоков заряженных частиц на металлы» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему и содержащей значимые научные и практические результаты, а её автор Чан Ми Ким Ан заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Дополнительный член диссертационного совета ДС.ТПУ.07 **Блейхер Галина Алексеевна**, доктор физико-математических наук, доцент, профессор научно-образовательного центра Б.П. Вейнберга инженерной школы ядерных технологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск, проспект Ленина, дом 30, тел. 8 (3822) 606-339, электронный адрес: bga@tpu.ru.



Подпись Блейхер Г.А. заверяю:

Учёный секретарь Учёного совета ТПУ



06.19.20
О.А. Ананьева