

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертационной работе Чан Ми Ким Ан «МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ И ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ПОТОКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НА МЕТАЛЛЫ», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Актуальность избранной темы.

Повышение эффективности модификации поверхности металлов и их сплавов обуславливает необходимость совершенствования существующих методов обработки, а также поиск новых, представляющих комбинацию уже известных методов. Среди известных методов воздействия на поверхность вещества наиболее перспективным представляется обработка концентрированными потоками энергии (потоками ионов, электронов, плазмы и др.). Несомненными преимуществами такой обработки являются высокая интенсивность, непосредственное воздействие источника энергии на требующую обработки область образца, быстрота, эффективность, производительность. Кроме того такой метод является экологически чистым по сравнению с традиционными видами механической и химико-термической обработки.

Дальнейшее развитие методов модификации поверхности возможно при использовании комбинации электронно-ионно-плазменных методов, сочетающих воздействие на поверхность плазменных потоков, ускоренных ионных и электронных пучков. Многофакторность такой обработки, а также сложность и многообразие процессов, протекающих при формировании пучков заряженных частиц и воздействия их на материалы, требует проведения комплексных исследований процессов определяющих устойчивые режимы работы этих источников и, соответственно, поиск оптимальных параметров воздействия потоков энергии на поверхность материалов и изделий.

В связи с вышеизложенным, тема диссертационной работы, посвященная теоретическому исследованию и численному моделированию процессов плазменно-иммерсионного формирования и транспортировки сфокусированного ионного пучка, также закономерностей воздействия высокоинтенсивных низкоэнергетических электронных и ионных пучков металлов и газов представляется актуальной.

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

В диссертационной работе представлено аналитическое и с применением численных методов решение ряда конкретных задач, среди которых особо следует выделить определение решающей роли ионно-электронной эмиссии с поверхности электродов на компенсацию пространственного заряда ионного пучка в плазменно-иммерсионной системе, построение модели многофазного твердого тела с учетом ионного распыления поверхности, определение влияния динамики радиального распределения плотности мощности электронного пучка на мишени на вычисление температуры поверхности.

Обоснованность результатов определяется детальным обзором существующих математических моделей формирования пучков заряженных частиц и их взаимодействия с различными материалами. В работе использованы научные публикации ведущих российских и

зарубежных авторов по теме диссертационного исследования, что подтверждается соответствующими ссылками в тексте диссертации.

Выводы, сделанные автором, подтверждаются экспериментально, что позволяет судить об адекватности и обоснованности предложенных математических моделей.

Достоверность и новизна полученных результатов

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается систематическим характером исследований, применением широко известных численных методов расчета, а также удовлетворительным совпадением результатов расчетов с экспериментальными данными.

При выполнении работ использована современная диагностическая аппаратура (высокоскоростной инфракрасный пирометр), применены хорошо зарекомендовавшие себя методы математического моделирования (использование кода КАРАТ) и использованы стандартные уравнения теплопроводности, диффузии с учетом особенностей облучения и свойств поверхности материалов. Представленные в работе результаты неоднократно докладывались на самых авторитетных международных конференциях и симпозиумах, опубликованы в ведущих научных отечественных и зарубежных журналах.

В диссертационной работе приведен ряд новых результатов, к которым следует отнести следующие:

1. Определены условия устойчивой транспортировки ионного пучка в системе с плазменно-иммерсионным формированием и баллистической фокусировкой.
2. Построена математическая модель формирования ионно-модифицированных слоев с учетом распыления поверхности ионами пучка при модификации стали 40Х высокоинтенсивными пучками ионов азота низкой энергии.
3. Показано, что при электронно-лучевой обработке алюминия с титановым покрытием с увеличением толщины титанового покрытия от 1 до 3.5 мкм при одной и той же температуре поверхности требуется полуторакратное увеличение мощности пучка, а также что необходимо учитывать процессы, связанные с эрозией поверхности за счет взаимодействия интенсивного электронного пучка с расплавленным алюминием.

Замечания по диссертации и автореферату

1. На стр. 74 автор, на мой взгляд, использует не совсем удачный термин «центр поверхности образца» - не понятно о какой поверхности идет речь – о той, которая подвергается воздействию или противоположной? Как это коррелирует с расположением термопары показанном в эксперименте?

2. Нарушена последовательность ссылок в автореферате - так на стр. 3 не обнаружил ссылки на источник литературы №5, т.е. после 4 идет сразу 6 и 7.

3. При моделировании импульсного высокоскоростного воздействия низкоэнергетического электронного пучка на металлические материалы автор приводит зависимости температуры поверхности металлов от времени (рис. 4.3 и 4.4). Причем экспериментальные зависимости температуры начинаются с 400 °С, а расчетные с более низких значений температур. За счет чего осуществляется нагрев образцов до начала воздействия?

4. Почему при моделировании тепловых процессов в гл. 4 не учитываются краевые эффекты и излучение с поверхности мишени?

5. Как была рассчитана зависимость среднего радиуса $r_0(t)$ от времени? На стр. 84 автор указывает на то, что «Зависимость среднего радиуса $r_0(t)$ включает в себя, как динамику радиального распределения плотности мощности пучка, так и ошибки при задании табличных значений $\lambda(T)$.» О каких ошибках идет речь? Как они оценивались?

6. В тексте диссертации и автореферате имеются некоторые неточности. Например: на рис. 1.7, 2.10 (стр. 19 и 47 диссертации) приведенные осциллограммы не подписаны. Нарушена последовательность нумерации формул на стр. 31, используются разные обозначения одной и той же скорости (стр. 38, 39). Дословно повторяется одна и та же фраза «...нитриды могут существовать в виде твердого раствора и находиться в свободном состоянии, располагаясь в дефектах, трещинах [30,63].» на стр. 62 и 68. По всему тексту диссертации встречаются орфографические и пунктуационные ошибки.

Отмеченные недостатки не затрагивают сущности научных положений выносимых на защиту и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

В целом диссертационная работа Чан Ми Ким Ан является научно-квалифицированной работой, имеющей научную и практическую ценность. Диссертация соответствует требованиям п.п. 8-12, установленных Порядком присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (приказ № 93/од от 06.12.2018), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Официальный оппонент, доктор технических наук,
старший научный сотрудник

 Климов А.С.

Климов Александр Сергеевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник лаборатории плазменной электроники каф. физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

634050, г. Томск, проспект Ленина, 40.

Телефон: +7(3822) 510-530, e-mail: klimov@main.tusur.ru

Дата

Подпись Климова А.С. удостоверяю,
Ученый секретарь ТУСУР





Прокопчук Е.В.