

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук
Мартыненко Ю.В. на диссертацию Капустина Сергея Николаевича:
«Исследование процессов образования кластеров и наночастиц при ионной
бомбардировке поверхности твердого тела», представленную к защите на
соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.04 – физическая электроника

Актуальность целей и задач, изложенных в диссертации Капустина С.Н., определяются важностью ионного распыления для решения актуальных современных проблем, таких как, пучково-плазменные технологии и управляемый термоядерный синтез. Как правило, ионное распыление изучается в режиме упругого взаимодействия между ионом и мишенью, определяются такие характеристики как выход продуктов распыления, энергетические спектры распыляемых частиц и их зарядовый состав.

Работа Капустина С.Н. посвящена распылению в виде многоатомных кластеров, процесс эмиссии которых недостаточно раскрыт с теоретической точки зрения. Многоатомные кластеры можно использовать как кластерные ионы, квантовые точки, для производства наполнителя из наночастиц. При определенных условиях их доля в продуктах распыления может превысить долю одноатомных частиц. Капустин С.Н. описал не только механизм эмиссии кластера и его главные характеристики, такие как кинетическая и внутренняя энергии, масса, заряд, но и эволюцию перевозбуждённых кластеров, что позволило значительно расширить рамки применимости модели.

Автором диссертации так же были предложены методы расширения области применения модели на некоторые сложные соединения и наночастицы. Безусловно, диссертация Капустина С.Н. затрагивает актуальные вопросы современной физики, как в прикладном, так и в фундаментальном плане.

Представленная рукопись диссертации оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Работа включает в себя введение, три главы основной части, заключение и список литературы из 124 наименований.

Во введении обоснована актуальность исследования, определены цель и задачи, обсуждена новизна работы и ее теоретическая и практическая значимость, сформулированы защищаемые положения.

В первой главе приведены теоретические основы для описания явления ионного распыления. Дан обзор различных методов, применяемых для

описания и расчетов процессов распыления металла под действием ионной бомбардировки. Помимо теории упругого распыления в виде одиночных атомов представлены модели распыления в не упругом режиме – изложен механизм кулоновского взрыва и термального пика. Так же представлен метод молекулярной динамики для расчета вылета распыленных кластеров.

В разделе [1.4] приведено развитое автором диссертации обобщение теории ионного распыления металла в виде кластера с числом атомов больше 4 на случаи фрагментации перегретых кластеров. Это расширяет диапазон применимости модели В.И. Матвеева в область больших кластеров.

Во второй главе внимание, главным образом, уделено образованию зарядового состава продуктов распыления. Глава начинается кратким обзором современных подходов к описанию появления заряда у выбитых при ионной бомбардировке одиночных атомов и кластеров. Автор применяет флуктуационный механизм для объяснения формирования заряда вылетающего кластера, а затем и для объяснения изменения заряда кластера при его фрагментации. Получено выражение для описания кинетических спектров кластеров с учетом заряда и их фрагментации.

В главе 3 рассмотрено применение модели к описанию ионного распыления неметаллических соединений и наночастиц. Из сравнения с экспериментом показана возможность применения модели к неметаллическим веществам вроде углерода и кремния. Рассмотрено применение модели к описанию распыления сложных низкомолекулярных соединений, а также распыление наночастиц. Из сравнения полученных данных с экспериментом и анализа положенных в основу модели теоретических предположений, формулируются границы применимости модели

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Среди наиболее значимых и обладающих научной новизной результатов выделим следующие:

1. Получены аналитические выражения, описывающие энергетические, массовые и зарядовые спектры распыляемых кластеров.
2. Развита модель эмиссии кластеров из нанообъектов и наночастиц.
3. Показана применимость модели распыления кластеров из некоторых сложных соединений.

Представленные в работе результаты и выводы являются обоснованными, выносимые на защиту положения напрямую следуют из результатов работы.

Достоверность работы достигается хорошей согласованностью

результатов вычислений с большим количеством экспериментальных данных, полученных различными авторами, строгостью используемых математических методов и моделей, непротиворечивостью результатов и выводов, их согласованностью с современными представлениями физики взаимодействия ионов с поверхностью.

По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ, из них 6 работ в рецензируемых журналах из списка ВАК и/или индексируемых в базе данных Web of Science и Scopus.

Автореферат и публикации достаточно полно отражают основное содержание диссертации.

Научая и практическая значимость.

Предложена простая модель эволюции перевозбуждённых кластеров, описывающая не только их фрагментацию, но и изменение заряда при этом. Особенно интересно применение возможности разработанной модели в случае необходимости пересчитать выход трудно поддающихся регистрации нейтральных кластеров по данным для заряженных кластеров. Это может быть полезно при разработке устройств, включающих в себя соответствующие датчики – электронные микроскопы с ионной колонной, источники кластерных ионов. Полное же количественное и детальное описание процессов ионного распыления возможно лишь численными методами молекулярной динамики. Предложенную теорию следует применять до проведения расчетов с целью предварительной оценки и описания физических механизмов формирования продуктов ионного распыления в виде нейтральных и заряженных кластеров.

Считаю необходимым сделать следующие замечания:

1. При разработке модели распыления кластеров используется ряд предположений, но нет четкого определения условий их применимости.
 - Так, в первой главе, не определён размер каскада (или, лучше бы, какова масса и энергия распыляющего иона), при котором можно считать распределение импульсов изотропным.
 - Во второй главе, полагается, что температура электронов равна температуре мишени, но нет критерия, когда это предположение нарушается вследствие возбуждения электронной подсистемы за счёт неупругих потерь энергии ионов.
2. Обзор литературы даётся в каждой главе. При этом трудно отделить, где кончается описание чужих работ, и начинаются

оригинальные работы автора.

3. Имеются стилистические и орфографические ошибки, небрежности в оформлении. Например, на рисунке 3.7 не указано, что отложено по осям.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не снижают значимости полученных результатов.

На основании всего изложенного считаю, что диссертационная работа Капустина Сергея Николаевича «Исследование процессов образования кластеров и наночастиц при ионной бомбардировке поверхности твердого тела» соответствует всем критериям ВАК Минобрнауки, утверждённого Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а её автор, Капустин Сергей Николаевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Официальный оппонент

главный научный сотрудник

Курчатовского комплекса термоядерной энергетики

и плазменных технологий НИЦ

«Курчатовский институт»,



Мартыненко Юрий Владимирович

123182, Россия, г. Москва,

пл. Академика Курчатова, д. 1

Тел.: +8 (499) 196 70 41

E-mail: martynenko_YV@nrcki.ru

Учёная степень: доктор физико-математических наук

Подпись доктора физико-математических наук Ю.В. Мартыненко заверяю,

Главный ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт»



С.Ю. Стремоухов

