

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Капустина Сергея Николаевича на тему: «Исследование процессов образования кластеров и наночастиц при ионной бомбардировке поверхности твердого тела», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника

1. Структура и объём диссертации.

Диссертации состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 105 страницах машинописного текста, содержит 30 рисунков и список литературы из 124 наименований. Следует отметить, что объём и структура работы вполне соответствуют требованиям «Положения» по оформлению диссертации. Материал диссертационной работы представлен в последовательности четко сориентированной на достижение поставленной общей цели и решение сформулированных во введении задач.

В первой главе сформулированы цели и задачи диссертации, приведены теоретические основы для описания явления ионного распыления, представлен обзор различных методов, применяемых для описания и расчетов процессов распыления металла под действием ионной бомбардировки. Приведено рассмотрение теории упругого ионного распыления металла в виде больших нейтральных и заряженных кластеров с числом атомов в их составе с учетом фрагментации перегретых кластеров в рамках «капельной» модели.

Вторая глава посвящена формированию зарядового состава продуктов распыления. Рассматривается применение флуктуационного механизма для объяснения формирования заряда вылетающего кластера и зависимости зарядового состава продуктов распыления от температуры мишени. Рассматривается применение этого же механизма для объяснения изменения заряда кластера при его фрагментации в рамках капельной модели. Описано формирование кинетических спектров кластеров с учетом заряда и их фрагментации.

В главе 3 рассмотрено применение модели к описанию ионного распыления таких неклассических мишеней, как наночастицы на примере фуллеренов, полифуллеренов, углеродных нанотрубок. Показана возможность применения модели к мишеням из неметаллических веществ, например, углерода и кремния. Описывается применение модели к описанию распыления сложных низкомолекулярных соединений, рассматриваются особенности распыления наночастиц.

2. Актуальность диссертационной работы.

Диссертационная работа Капустина С.Н. посвящена описанию процесса эмиссии многоатомных кластеров. В диссертации развит подход, позволяющий оценивать массовый, зарядовый состав многоатомных продуктов распыления, а так же рассчитывать их энергетические спектры. Процесс распыления нейтральных и заряженных частиц при ионной бомбардировке поверхности твердых тел интенсивно изучается в последние 60 лет. Это определено широким применением ионного распыления в микроэлектронных технологиях, модификации поверхностных слоев, в различных методах анализа поверхности и др. На сегодняшний день накоплен обширный экспериментальный и теоретический материал, касающийся распыления моно и многоэлементных образцов. Но он, в основном, связан с эмиссией атомарных и молекулярных частиц. В то же время растет интерес к изучению распыления нейтральных и заряженных многоатомных кластеров, которые могут использоваться при анализе поверхности методом вторично-ионной масс-спектрометрии, модификации поверхности, формированию в приповерхностных слоях квантовых структур. Кроме того анализ последних структур требует изучения распыления образцов, размеры которых сравнимы с областью линейных каскадов, возникающих при взаимодействии падающих ионов с поверхностью. Поэтому актуальность темы диссертационной работы Капустина С.Н., в которой представлены результаты теоретического исследования формирования многоатомных кластеров при распылении металлов и полупроводников, а также распыления нанообъектов не вызывает сомнения.

3. Научная и практическая значимость полученных результатов.

В диссертации впервые представлен целый ряд новых результатов, имеющих научную и практическую значимость:

- разработана аналитическая модель, описывающая эмиссию кластера из мишени, а так же его дальнейшую эволюцию. Результаты представлены в виде простых аналитических выражений. Подход не требует для использования больших вычислительных мощностей, что делает возможным применение его для практических расчетов;

- предложены методы расчета распределения кластеров по массам с учетом их фрагментации после распыления;

- получены массовые и энергетические распределения заряженных кластеров, распыленных с поверхности ряда металлов;

- показана возможность модели для расчета выхода нейтральных кластеров по измеренной экспериментально эмиссии заряженных кластеров;

- предложен метод расчета распыления нанообъектов (фуллеренов, углеродных нанотрубок) и химических соединений (диоксид кремния).

4. Степень обоснованности и достоверности полученных основных результатов и выводов достигается сравнением результатов вычислений массовых и энергетических спектров кластеров с учетом их заряда с большим количеством экспериментов. Демонстрируется хорошая сходимость расчетов по предложенной модели с экспериментом.

5. Апробация работы.

Все результаты работы опубликованы в 10 работах, из них 6 статей в рецензируемых научных журналах и изданиях, докладывались на 5 международных и Российских конференциях.

6. Содержимое автореферата вполне раскрывает основные результаты и выводы диссертации, соответствует перечню опубликованных работ. Материал автореферата, исследований позволяет раскрыть главные достоинства работы.

7. Замечания по работе:

1. В обзоре не отражены некоторые важные и широко известные теоретические работы, посвященные описанию ионного распыления в виде многоатомных кластеров, например полуэмпирическая модель А. Вучера

2. Изложение в ряде случаев ведется слишком подробно, например, в главе 1.

3. Материал главы 3 безусловно представляет значительный интерес, но требует дальнейшей проработки.

4. В тексте диссертации имеются опечатки. Качество некоторых рисунков оставляет желать лучшего, не выдержанно однообразие их оформления.

Однако, указанные замечания ни в коей не снижают общей научной значимости работы и могут быть учтены автором диссертации при последующих исследованиях.

8. Заключение.

Содержание диссертационной работы Капустина Сергея Николаевича на тему: «Исследование процессов образования кластеров и наночастиц при ионной бомбардировке поверхности твердого тела», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника. Полученные основные результаты достаточно опубликованы в рецензируемых научных журналах, были доложены на 5 международных конференциях.

Автореферат соответствует диссертационной работе, полно отражает содержание работы и основные научные положения, вынесенные на защиту.

По объёму представленного материала, научной новизне, фундаментальности и достоверности результатов, обоснованности защищаемых положений, практической значимости диссертационная работа «Исследование процессов образования кластеров и наночастиц при ионной бомбардировке поверхности твердого тела» в полной мере удовлетворяют требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор – Капустин Сергей Николаевич - заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
доцент, старший научный сотрудник
Ярославского филиала Физико-
технологического института Российской
Академии Наук
(ЯФ ФТИАН РАН)


Бачурин
Владимир Иванович

Ярославский Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технологического института Российской академии 150007, г. Ярославль, ул. Университетская, д. 21 наук, (4852) 24-65-52
Адрес: 150064 Ярославль, пр. Моторостроителей, д. 2, кв. 84, телефон: 8-910-970-46-97,
email: vibachurin@mail.ru


Подпись старшего научного сотрудника ЯФ ФТИАН доктора физико-математических наук, доцента БАЧУРИНА В.И. удостоверяю

Заместитель директора

по научной работе ЯФ ФТИАН РАН

12 сентября 2018 года




Амиров И.И.