



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В.ЛОМОНОСОВА (МГУ)

Ленинские горы, ГСП-1, Москва, 119991
Тел.: (495) 939 1000, Факс: (495) 939 0126
13.05.2001 № 135/1-21/03-03
На № _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор Московского
государственного университета
имени М.В. Ломоносова

ОТЗЫВ

ведущей организации Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова на докторскую работу Мелузовой Д. С. «Моделирование ионного облучения кристаллических и аморфных мишеней, включая материалы первой стенки токамака-реактора», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 — Физическая электроника.

Актуальность темы диссертации

В настоящее время активно разрабатываются технологические подходы для описания взаимодействия атомарных частиц с поверхностью твердых тел и исследования тормозных способностей в веществе с целью совершенствования методов осаждения, имплантации, травления поверхности твердого тела при помощи ионных пучков низких энергий, а также разработки новых конструкционных материалов, включая материалы первой стенки токамака-реактора. Несмотря на значительный прогресс в данной области, достигнутый за последние годы, остается ряд нерешённых вопросов, имеющих принципиальное значение. Часть данных отсутствуют, либо ограничены. Развитие методов моделирования позволит значительно ускорить указанные выше технологические подходы.

Таким образом, моделирование ионного облучения кристаллических и аморфных мишеней, включая материалы первой стенки токамака-реактора представляется актуальной задачей.

Структура и основное содержание работы

Диссертация состоит из введения, трёх глав и заключения. Общий объём – 116 страниц. Диссертация содержит 42 рисунка, 8 таблиц. Список литературы включает 101 наименование.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, изложена цель и задачи работы, степень разработанности, научная новизна, методология и методы исследования, теоретическая и практическая значимость полученных результатов и положения, выносимые на защиту, представлены аprobация работы, публикации и личный вклад соискателя, описаны структура и объем диссертации.

В первой главе приведен обзор литературы по теме диссертационной работы. В ней описаны методы расчета взаимодействия пучков атомных частиц с твёрдым телом, а также изложено современное состояние исследований в области взаимодействия изотопов легких атомов с материалами поверхности твердых тел.

В второй главе содержится описание программного кода для моделирования взаимодействия атомных пучков с твердотельными мишениями.

В третьей главе приведены результаты моделирования и анализа различных процессов, имеющих место при ионном облучении кристаллических и аморфных мишеней, включая материалы первой стенки токамака-реактора.

В заключении представлены основные выводы по результатам проведенных исследований.

Научная новизна исследования и полученных результатов. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Высокий уровень исследований обеспечил научную новизну полученных результатов, которые сформулированы в автореферате и диссертационной работе. Результаты данной работы опубликованы в 13 специализированных российских и зарубежных журналах, рекомендованных ВАК РФ, и входящих в список журналов Scopus и Web of Science. В качестве наиболее важных из них отметим следующие:

- Разработан численный код для моделирования взаимодействия пучков ионов и атомов с твёрдым телом, который успешно применен для моделирования следующих процессов: прохождение атомов через кристалл и аморфное твёрдое тело, рассеяние, распыление.
- Определены амплитуды тепловых колебаний атомов в кристаллических Al и Ag. С помощью использования зависимости значения радиального угла от начальной энергии бомбардирующих частиц получены потенциалы взаимодействия для комбинаций Ar-Ag(111), Ar-Al(111), Ar-Al(001), Ne-Al(001), Kr-Al(001)

- Проведён подробный анализ влияния притягивающей ямы в потенциалах взаимодействия «налетающая частица – твёрдое тело» на процесс отражения атомов от твёрдого тела, а также оценено влияние ямы на величину пробега атома в аморфной мишени.
- Предложена оригинальная модель, объясняющая универсальность поведения коэффициентов распыления в припороговой области при бомбардировке вольфрама легкими ионами.

Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации являются новыми, обоснованными и достоверными. Результаты диссертационной работы апробированы на многочисленных всероссийских и международных научных конференциях.

Теоретическая значимость диссертационной работы

Наиболее важный результат, определяющий теоретическую значимость диссертационной работы, заключается в том, что в ней предложены механизмы радиального рассеяния на поверхности кристаллов и проведена оценка влияния притягивающей части потенциалов взаимодействия на отражение и глубину проникновения атомных частиц, что позволило оценить применимость широко используемых моделей парных потенциалов.

Обнаруженные в работе закономерности взаимодействия ионов с твердым телом следует учитывать при решении фундаментальных проблем использования твердотельных материалов в ионно-пучковых и плазменных технологиях.

Практическая значимость диссертационной работы

Результаты исследования могут быть использованы для селективной модификации поверхности твердых тел путем ионного травления или ионной имплантации, а также при синтезе тонких пленок методом направленного ионно-плазменного осаждения атомов. В то же время исследуемые энергетические диапазоны включают в себя типичные энергии частиц плазмы в токамаке.

Полученные в работе результаты представляют большой интерес для широкого круга специалистов в области физики конденсированного состояния и учреждений, ведущих исследования в области создания новых материалов с использованием ионно-пучковых технологий, в том числе в защитных целях. В частности, результаты работы могут быть полезны в фундаментальных и прикладных исследованиях, проводимых на физическом факультете МГУ, в НИЦ «Курчатовский институт», НИИЯФ МГУ, НИЯУ МИФИ, МАТИ, МАИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, СПбГЭТУ, ФТИАН РАН, БФУ им. И. Канта.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

По своим целям, задачам, содержанию, методам проведенных исследований и научной новизне диссертация соответствует п.б. паспорта специальности 01.04.04 **Физическая электроника** (физико-математические науки).

Соответствие автореферата содержанию диссертации

Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертационной работы, ее основные результаты, положения и выводы.

Недостатки в диссертации и автореферате

1. Для описания рассеяния часто используются различные типы экранированных кулоновских потенциалов. Выбор длины экранирования зависит от типа потенциала. Будет ли ZBL потенциал лучше подходить для интерпретации экспериментальных данных если варьировать длину экранирования?
2. При обсуждении эффекта канализирования обычно используют понятие критический угол канализирования. Однако ни для одного из расчётов он не был приведен. На рисунке 31 приведено распределение пробегов для комбинации D-W(100) при различных углах падения налетающих частиц. Согласно этому рисунку, критический угол канализирования около 12 градусов. Следовало оценить критический угол канализирования для данной комбинации и оценить достоверность полученных результатов.
3. При обсуждении вопросов, связанных с разрушением первой стенки, следовало также рассмотреть влияние дозовых эффектов на процессы взаимодействия ионов с твёрдым телом.
4. Следовало привести в начале диссертационной работы список сокращений.

Имеются незначительные опечатки, что практически неизбежно для такого объемного труда. В диссертационной работе на стр. 28 подпись к рисунку 5: «рассеяния», на стр. 50 подпись к рисунку 12: «рассеяния», на стр. 60 подпись к рисунку 19: «потенциала DFT» и т.д. Некоторые рисунки содержат большое количество обозначений, не переведенных на русский язык и не упомянутых в тексте работы, например рисунки 5, 7, 10 и др.

Отмеченные недостатки не снижают общей весьма положительной оценки диссертационной работы, в которой представлен большой и безусловно важный материал.

Заключение

Диссертационная работа **Мелузовой Д. С.** «Моделирование ионного облучения кристаллических и аморфных мишней, включая материалы первой стенки токамака-реактора» является законченной, логически выстроенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную и важную тему. В рамках решения фундаментальной научной проблемы взаимодействия заряженных частиц с кристаллическими и аморфными мишенями, разработаны новые подходы к ее решению и сформулированы научные положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, вносящее существенные вклад в физику конденсированного состояния.

Диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук», утвержденного директором ФТИ им. А.Ф. Иоффе 19.08.2019, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Мелузова Дарья Сергеевна заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника.

Диссертация, автореферат диссертации и отзыв обсуждены и одобрены на семинаре «Физика нано, атомных и ядерных систем и их взаимодействий» ОФАЯ НИИЯФ МГУ от 29 апреля 2021г.

и.о. директора НИИЯФ МГУ
член-корреспондент РАН, профессор

Боос Эдуард Эрнстович

Заведующий ОФАЯ НИИЯФ МГУ
д.ф.-м.н., профессор

Чеченин Николай Гаврилович

Отзыв составил
Зав. лабораторией ЛИПН
ОФАЯ НИИЯФ МГУ, к.ф.м.н.

Шемухин Андрей Александрович

Адрес: 119991, Москва, Ленинские горы, 1, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Тел.: +7(495)939-18-18
Факс: +7(495)939-08-96
E-mail: info@sinp.msu.ru