

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Мусина Артема Игоревича «Исследование механизмов распыления монокристаллов методами молекулярной динамики», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»

Диссертационное исследование Мусина А.И. посвящено одному из аспектов взаимодействия ускоренных заряженных частиц с веществом – ионному распылению твердых тел. Физические основы происходящих при этом процессов важны для решения широкого круга практических задач: ионной имплантации, напыления тонких пленок, создания покрытий оптических элементов с заданными свойствами в том числе для оптики рентгеновского диапазона, создания нанорельефа поверхности, термоядерного синтеза.

В своей работе Мусин А.И. создал две численные модели: одну упрощенную (модель 20 атомов), которая позволяет воспроизвести и проанализировать основные механизмы эмиссии распыленных атомов, и вторую – полномасштабную молекулярно-динамическую модель (с падением ионов на монокристаллический блок), наиболее приближенную к реальному эксперименту. Для реализации моделей автором были разработаны расчетные коды, реализованные в программных пакетах. Расчеты в рамках данных программных пакетов проводились автором на суперкомпьютерах МГУ.

В качестве основных и наиболее значимых научных результатов, полученных соискателем, можно выделить следующие:

1. Расчётно обосновано доминирующее влияние поверхностных механизмов распыления над каскадными (объемными) механизмами на примере распыления грани (001) монокристалла Ni. Этот результат ценен для фундаментальной науки, т.к. показывает особую роль поверхности, на которую производится воздействие.
2. В рамках обеих моделей найдены и проанализированы особые группы распыленных атомов – перефокусированные по азимутальному углу,

сформулированы условия, при которых атомы данной группы могут быть выделены в эксперименте. Этот результат ценен для дальнейших разработок методик анализа поверхности, использующих тонкую структуру распределения распыленных атомов и однозначную интерпретацию получаемых экспериментальных результатов.

По содержанию автореферата имеются следующие замечания:

1. Автором не указано количество испытаний («численных экспериментов»), рассчитанных в рамках модели 20 атомов и полномасштабной МД-модели. Не рассмотрены вопросы устойчивости моделей и сходимости расчётов в предложенных математических моделях.
2. В автореферате не обоснован выбор именно никеля в качестве материала мишени. И правомерность перехода к другим атомам при проведении численных расчетов может давать существенные погрешности в плане теоретических оценок.
3. В ряде случаев не обсуждается вопрос влияния конкретного изотопа химического элемента на получаемые в ходе численных расчётов результаты.
4. Величины коэффициента распыления на графиках указаны в относительных единицах, непонятно, на какую величину в этом случае производится нормировка.
5. На графиках полезно привести величину погрешности расчёта, для последующего сравнения с экспериментами.

Несмотря на приведенные замечания, высокий уровень проделанной Мусиным А.И. работы не вызывает сомнений. Возможно, все указанные вопросы освещены в тексте самой диссертации.

Достоверность, научная новизна и актуальность полученных результатов не вызывают сомнений, что в свою очередь подтверждается широтой апробации научной работы на конференциях и публикациями: 3

статьи в журналах, индексируемых Web of Science, Scopus, RSCI; 5 статей в сборниках трудов конференций; 17 тезисов докладов.

Содержание автореферата диссертации соответствует требованиям и критериям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата наук в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова. Считаю, что соискатель Мусин А.И. заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

доктор физико-математических наук
заместитель директор

М.В. Ломоносова в г. Сарове

— Качалин Григорий Николаевич

03.05.2023

Адрес места работы: _____ ская область, ЗАТО, г. Саров, ул.
Парковая д. 8, Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова.

Тел.: 8(83130)9-97-77, e-mail:

Я, Качалин Григорий Николаевич, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанную с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела Мусина А.И.

Подпись Качалина Г.Н. удостоверяю: .