

## 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»

Диссертация Мусина А.И. посвящена изучению особенностей эмиссии поверхностных атомов при распылении монокристаллических мишеней ионной бомбардировкой. Задача решается методом молекулярной динамики (МД), наиболее адекватным в рассмотренной области энергий. Алгоритм «средней силы», выбранный для расчета траекторий атомов, является достаточно экономичным и дает возможность получить требуемую точность за минимальное время. Это позволило автору диссертационной работы выполнить значительный объем вычислений и всесторонне исследовать механизмы формирования угловых и энергетических распределений распыленных атомов, знание которых необходимо, в частности, для совершенствования методов элементного и структурного анализа твердых тел спектроскопическими методами типа SIMS и SNMS.

В диссертации впервые детально исследовано влияние фокусировки атомных траекторий при движении в потенциальном поле поверхности монокристалла, играющей важную роль в формировании угловых и энергетических распределений распыленных частиц. Наибольший интерес представляет проведенный в диссертации сравнительный анализ фокусирующего действия поверхностных линз при изменении энергии связи атомов, атомного номера материала мишени и ее магнитного состояния.

Существенным результатом диссертационной работы являются также расчеты с использованием полномасштабной МД-модели, в которой монокристаллический блок атомов Ni бомбардировался ионами Ag с энергией 200 эВ. В этих расчетах была получена картина пятен Венера, близкая к той, что наблюдается экспериментально, и сделан вывод о слабом влиянии каскадных механизмов на формировании пятен Венера в области низких энергий бомбардирующих частиц. Кроме того, была предсказана возможность наблюдения тонкой структуры в распределениях распыленных атомов по азимутальному углу вылета, связанной с фокусировкой траекторий эмитируемых атомов.

К недостаткам автореферата следует отнести то, что при описании вычислительной модели и результатов моделирования, изложенных во второй и третьей главах диссертации, не сказано, с каким межатомным потенциалом проводились расчеты.

Основные результаты достаточно полно опубликованы в научных журналах, индексируемых Scopus, Web of Science, RSCI. Работа апробирована автором на Международных конференциях «Взаимодействие ионов с поверхностью» (Москва, Ярославль, 2015-2021), Международных Тулиновских конференциях (Москва, 2014-2022) и др.

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

Ведущий научный сотрудник  
доктор физ.-мат. наук

Шульга Владимир Иванович

08.05.2023 г.

Адрес места работы: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына, лаборатория физики наноструктур и радиационных эффектов.

Тел.: 8 (495) 392-07-68, e-mail: \_\_\_\_\_

Я, Шульга Владимир Иванович, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанную с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела Мусина А.И.

Подпись Шульги В.И. удостоверяю:

Ученый секретарь НИИЯФ МГУ  
кандидат физ.-мат. наук