

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.06,
созданного на базе международной межправительственной организации

Объединённого института ядерных исследований

по диссертации на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 19 января 2018 г. №245
о присуждении **Рымжанову Руслану Аликовичу** гражданину Республики Казахстан ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование процессов возбуждения и релаксации электронной подсистемы монокристаллов оксидов, облучаемых быстрыми тяжелыми ионами» по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния принята к защите повторно 6 октября 2017 года, протокол №242 диссертационным советом Д720.001.06 на базе международной межправительственной организации Объединённый институт ядерных исследований, 141980, г. Дубна Московской обл., ул. Жолио-Кюри, д. 6.

Соискатель Рымжанов Руслан Аликович 1989 года рождения в 2013 году окончил магистратуру Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Международный университет природы, общества и человека «Дубна» (141982 г. Дубна Московской области, ул. Университетская, 19), выдавшей 28 июня 2013 года диплом о высшем образовании №1150050009840, регистрационный №11214. В 2016 году Рымжанов Р.А. окончил аспирантуру Учебно-научного центра Объединенного института ядерных исследований, 141980, г. Дубна Московской обл., ул. Жолио-Кюри, д. 6.

Рымжанов Р.А. работает в должности младшего научного сотрудника Сектора №8 Ионно-имплантационных нанотехнологий и радиационного материаловедения Лаборатории ядерных реакций имени Г.Н. Флерова международной межправительственной организации «Объединённый институт ядерных исследова-

ний», 141980, г. Дубна Московской обл., ул. Жолио-Кюри, д. 6.

Диссертация выполнена в Лаборатории ядерных реакций имени Г.Н. Флерова в международной межправительственной организации «Объединенный институт ядерных исследований», 141980, г. Дубна Московской обл., ул. Жолио-Кюри, д. 6.

Научный руководитель – Скуратов Владимир Алексеевич, доктор физико-математических наук, начальник сектора №8 Ионно-имплантационных нанотехнологий и радиационного материаловедения Лаборатории ядерных реакций имени Г.Н. Флерова Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты: Бородин Владимир Алексеевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» и Стариков Сергей Валерьевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Объединенного института высоких температур РАН дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный Научный Центр Российской Федерации - Институт Теоретической и Экспериментальной Физики» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» г. Москва в своём положительном заключении (заключение подготовил Степанов С.В., доктор физико-математических наук, Секретарь секции №4 Ученого совета), подписанном Председателем секции №4 Ученого совета ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт», доктором физико-математических наук, профессором Джебпаровым Ф.С. отметила, что диссертация Р.А. Рымжанова посвящена разработке модели возбуждения электронной подсистемы материала в треках тяжелых ионов высоких энергий, а также применению разработанной модели для описания кинетики возбуждения и релаксации перспективного материала ядерной энергетики – оксида алюминия – при облучении быстрыми тяжелыми ионами. Подобные исследования представляют значительный интерес для изучения радиационной стойкости материалов ядерной энергетики и космической электроники. Основной отличительной особенностью

взаимодействия быстрых тяжелых ионов с веществом при таких энергиях является высокий уровень удельных ионизационных потерь энергии и, как следствие, формирование в целом ряде материалов зоны структурных нарушений, локализованной вокруг ионной траектории и называемой латентным треком.

Несмотря на значительное количество работ, в настоящее время нет единого представления о микроскопических механизмах образования треков. Поэтому развитие модельных и численных методов описания образования треков высокоэнергетических ионов представляется актуальной задачей, поставленной в диссертационной работе.

Разработанная автором модель может быть использована для оценок радиационной стойкости и деградации конструкционных материалов ядерных установок. Работа содержит новые важные результаты, расширяющие представления о природе треков и процессов, протекающих в них. Разработанная в диссертации модель позволила автору провести моделирование изменения структуры оксида алюминия в треках высокоэнергетических тяжелых ионов.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ по теме диссертации, из которых 11 статей в научных изданиях, цитируемых базами данных Web of Science и Scopus, РИНЦ; 1 публикация в сборнике международной конференции. Работы опубликованы в известных журналах с высокими рейтингами. Сведения о публикациях являются достоверными. Суммарный объем публикаций более 60 страниц, во многих статьях соискатель является первым автором.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. N.A. Medvedev, R.A. Rymzhanov, A.E. Volkov *Complex dielectric function formalism for description of the electron kinetics in swift heavy ion tracks in LiF and Y₂O₃* // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B. 315 (2013) 85–89.
2. S.A. Gorbunov, N.A. Medvedev, R.A. Rymzhanov, P.N. Terekhin, A.E. Volkov *Excitation and relaxation of olivine after swift heavy ion impact* // Nucl. Instruments Methods Phys. Res. B. 326 (2014) 163–168.

3. P.N. Terekhin, R.A. Rymzhanov, S.A. Gorbunov, N.A. Medvedev, A.E. Volkov *Effect of valence holes on swift heavy ion track formation in Al_2O_3* // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B. 54 (2015) 200–204.
4. R.A. Voronkov, R.A. Rymzhanov, N.A. Medvedev, A.E. Volkov *Monte-Carlo modeling of excitation of the electron subsystem of ZnO and MgO in tracks of swift heavy ions* // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B. 365 (2015) 468–471.
5. J.H. O’Connell, R.A. Rymzhanov, V.A. Skuratov, A.E. Volkov, N.S. Kirilkin *Latent tracks and associated strain in Al_2O_3 irradiated with swift heavy ions* // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B. 374 (2016) 97–101.
6. J.H. O’Connell, R.A. Rymzhanov, V.A. Skuratov *Track interference in swift heavy ion irradiated Al_2O_3* . Сборник материалов конференции Взаимодействие излучений с твердым телом-2015. 2015, Минск, Беларусь, с. 286–288.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается известностью их работ в научных кругах, применением в исследованиях наиболее передовых современных методов и технологий.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработан численный метод, позволяющий в едином подходе моделировать кинетику возбуждения электронной и ионной подсистем материала в треке высокоэнергетических тяжелых ионов, а также последующую релаксацию этого возбуждения и кинетику структурных изменений, позволяющий выявить качественно новые закономерности процессов взаимодействия тяжёлых ионов с диэлектриками.

Автором предложена Монте-Карло модель, описывающая кинетику возмущения электронной подсистемы материала оксидных частиц налетающим тяжелым ионом и генерируемыми в результате ионизации материала быстрыми электронами. Сечения рассеяния заряженных частиц на электронной и ионной подсистемах мишени рассчитываются в рамках формализма динамического структурного фактора – комплексной диэлектрической функции, который автоматически

учитывает коллективную реакцию материала на внешнее возмущение.

Теоретическая значимость исследования обусловлена тем, что с помощью предложенной соискателем модели Монте-Карло получены и проанализированы пространственно-временные распределения быстрых электронов и валентных дырок расширяющие представления об изучаемых процессах в оксиде алюминия, перспективном материале ядерной энергетики. Исследована временная динамика и определены характерные времена процессов, происходящих в треках БТИ, а также изучено взаимодействие электронов и валентных дырок с ионной подсистемой материала и рассчитаны радиальные распределения избыточной энергии в решетке оксида алюминия к моменту остывания электронной подсистемы.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что с помощью разработанных автором методов была изучена кинетика структурных изменений в треке тяжелого иона в монокристаллах Al_2O_3 и получено хорошее согласие с экспериментальными данными. Определены остаточные напряжения после релаксации решёточного возбуждения и показано, что трековая область состоит из менее плотного ядра и более плотной оболочки.

Впервые продемонстрирован эффект восстановления трековых областей в оксиде алюминия при их интерференции. Наличие этого эффекта позволяет качественно объяснить наблюдаемое экспериментально насыщение плотности треков в зависимости от флюенса ионов.

Полученные в работе результаты могут быть использованы при решении задач, связанных с описанием радиационных эффектов, вызываемых облучением осколками деления и частицами космических лучей в материалах ядерной энергетики и электронных компонентах космической техники, а также при разработке технологий и исследовании механизмов наноразмерной модификации материалов пучками тяжелых ионов высоких энергий.

Помимо практического интереса, задача по исследованию процессов в треках тяжелых ионов носит также и фундаментальный характер. Прохождение тяжелого

иона через вещество приводит к сильному возбуждению материала в крайне малых временных и пространственных масштабах. Решение этой задачи имеет фундаментальное значение для проработки моделей и методов описания кинетики материалов в условиях высокого уровня возбуждения и коротких пространственно-временных масштабов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что разработанный подход основан на общих фундаментальных принципах, не включает в себя свободные подгоночные параметры. В расчетах применяются современные численные алгоритмы, которые широко используются при моделировании радиационных эффектов в физике твердого тела. Основные приближения модели были проверены путем сравнения промежуточных результатов с независимыми источниками, принятыми в сообществе, а также с экспериментальными данными. Результаты работы опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах, входящих в список ВАК, докладывались на национальных и международных конференциях, хорошо известны специалистам в данной отрасли.

Личный вклад соискателя состоит в построении Монте-Карло модели, количественно описывающей кинетику возбуждения и релаксации электронной подсистемы материалов, применении этой модели для описания возбуждения электронной и ионной подсистем оксида алюминия в треках быстрых тяжелых ионов, моделирование структурных изменений Al_2O_3 в треках БТИ методами молекулярной динамики и сравнении результатов моделирования с экспериментальными данными, а также в публикациях по работе, в подготовке которых определяющий вклад внесен диссертантом.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критериям внутреннего единства, что подтверждается анализом результатов и сравнением их с экспериментальными данными. Поставленные в работе цели достигнуты, задачи решены на высоком научном уровне. Представленные в диссертации результаты достоверны.

На заседании 19 января 2018 года диссертационный совет сделал вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней, и принял решение присудить Рымжанову Р.А. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 6 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени 21, против присуждения ученой степени - нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета,
академик РАН

Ю.Ц. Оганесян

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.Г. Попеко

Дата оформления заключения: 22 января 2018 г.