

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертационную работу **Рымжанова Руслана Аликовича**

«Моделирование процессов возбуждения и релаксации электронной подсистемы монокристаллов оксидов, облучаемых быстрыми тяжелыми ионами»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Рымжанова Руслана Аликовича посвящена актуальной проблеме радиационного материаловедения: теоретическому исследованию процессов и механизмов формирования структурных изменений в трековой области в керамических и оксидных материалах ядерной энергетики при облучении тяжелыми ионами высоких энергий. Рымжанов Р.А. работает в Лаборатории ядерных реакций имени Г.Н. Флерова с 2011 года как студент магистратуры Международного университета «Дубна». С самого начала он принимал участие в работе, выполняемой в секторе №8 ЛЯР и связанной с изучением радиационной стойкости твердых тел на пучках быстрых тяжелых ионов. Во время обучения в аспирантуре (2013-2016 г.г.) Рымжанов Р.А. активно включился в работу по численному исследованию треков тяжелых ионов, которая включала в себя сотрудничество с международными исследовательскими центрами: Физическим институтом имени П.Н. Лебедева (г. Москва), Исследовательским центром объединения имени Гельмгольца DESY (Гамбург, Германия), Университетом имени Нельсона Манделы (Порт-Элизабет, ЮАР).

Основной задачей, поставленной перед Р.А. Рымжановым, было построение численной модели, которая была бы способна качественно и количественно описывать структуру трека быстрого тяжелого иона, процессы, происходящие в нем, а также объяснить наблюдаемый с помощью просвечивающей электронной микроскопии эффект насыщения плотности треков с ростом флюенса ионов. Интерес к исследованию эффектов, возникающих при облучении твердых тел высокоэнергетическими тяжелыми ионами, прежде всего, связан с необходимостью изучения радиационной стойкости конструкционных материалов ядерной энергетики, контактирующих с ядерным топливом, а также керамических и оксидных материалов инертных разбавителей композитного ядерного топлива (ZrO_2 , Al_2O_3 , Si_3N_4 , SiC). В процессе эксплуатации эти материалы облучаются осколками деления, тормозящимися в режиме электронных потерь энергии, что может вызывать ухудшение их эксплуатационных характеристик. Облучение быстрыми тяжелыми ионами является удобным инструментом для моделирования воздействия осколков деления и позволяет прогнозировать радиационную стойкость и долговременную стабильность таких материалов.

Р.А. Рымжановым была разработана и реализована численная модель возбуждения электронной подсистемы материала и передачи энергии в решетку в треке тяжелого иона, основанная на формализме комплексной диэлектрической

функции. Модель позволяет получать пространственно-временные параметры возбуждения электронной и ионной подсистем материала. Комбинация разработанного подхода с методами молекулярной динамики позволила автору работы изучить кинетику релаксации решетки оксида алюминия после пролета ионов Хе (167 МэВ) и Вi (700 МэВ), описать структурные изменения в области трека и определить основные параметры, характеризующие поврежденную область: радиальные распределения смещений атомов, плотность вещества после релаксации трека, остаточные напряжения, а также пороговое значение линейных потерь энергии, при котором наблюдаются треки тяжелых ионов. Полученные данные показали хорошее согласие с результатами экспериментальных исследований облученных образцов.

Из всех представленных результатов хочется обратить внимание на обнаружение эффекта восстановления исходной структуры в поврежденной области после возбуждения и релаксации материала последующими ионами. На основе этого процесса было объяснено наблюдаемое экспериментально насыщение плотности треков при флюенсе ионов $\sim 10^{12}$ см⁻². Этот эффект рекомбинации реализуется при перекрытии трековых областей и может быть исключительно важен для материалов ядерной энергетики, так как они могут облучаться осколками деления до очень высоких флюенсов ($\sim 10^{16}$ см⁻²).

Все вышеизложенное подтверждает несомненную актуальность темы диссертации, научную новизну и практическую значимость полученных результатов. Эти исследования были поддержаны в рамках проектов РФФИ.

На основании автореферата и опубликованных работ можно сделать заключение, что диссертационная работа Рымжанова Р.А. "Моделирование процессов возбуждения и релаксации электронной подсистемы монокристаллов оксидов, облучаемых быстрыми тяжелыми ионами" выполнена на высоком научном уровне и полностью отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния, а автор диссертации Рымжанов Руслан Аликович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Научный руководитель:
начальник сектора Лаборатории ядерных реакций
Объединенного института ядерных исследований,
доктор физико-математических наук,

 В.А. Скуратов

« 30 » сентября 2016 года

Подпись Скуратова В.А. удостоверяю.
Заместитель директора ЛЯР ОИЯИ,
кандидат физико-математических наук



А.Г. Попеко