

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Морозова Виталия Михайловича

«**Нелинейные модели радиационно-стимулированной диффузии точечных дефектов и роста когерентных структур в кристаллических средах**», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – Теоретическая физика

Моделирование воздействия лазерного и радиационного облучения на физические свойства кристаллических материалов представляет собой важный подход, способствующий разработке новых материалов с определенными свойствами. Исследования в области нелинейной динамики для анализа этих процессов имеют высокую значимость.

В диссертации предлагается методика описания процесса формирования упорядоченных структур, основанная на моделировании нелинейной зависимости коэффициента диффузии точечных дефектов от их концентрации. Рассматриваются различные механизмы образования сверхрешеток. Основное внимание уделено модели, названной «быстрая релаксация – медленная диффузия», в которой излучение рассматривается в качестве компоненты динамической системы, что приводит к явлению насыщения концентраций и описанию двух режимов роста структур – релаксационному и асимптотическому. Получены условия усиления амплитуды начального периодического распределения, критические волновые числа структуры и приведены численные оценки периодов структур для реальных параметров среды.

Все основные результаты диссертационного исследования представлены в публикациях соискателя, 9 из которых в рецензируемых журналах из списка ВАК.

Результаты работы являются оригинальными и могут быть использованы в исследованиях, посвященных получению материалов с заданными свойствами и теоретических исследованиях нелинейных процессов в конденсированных средах.


На основании материалов автореферата можно сделать вывод о том, что диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, согласно п. 2.2 раздела II (кандидатская) Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов», утвержденного ученым советом РУДН протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а её автор, Морозов Виталий Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 - Теоретическая физика.

Сибатов Ренат Тимергалиевич, доктор физико-математических наук, начальник Лаборатории мемристивных систем на основе самоорганизованных наноструктур федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-производственный комплекс «Технологический центр».

Адрес места работы: 124498, г. Москва, Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, стр.7, комн. 7237, НПК «Технологический центр».

Телефон: +7 (499) 734-02-68

E-mail: ren_sib@bk.ru

 / Сибатов Р. Т./

Дата: 07.06.2024

Подпись Сибатова Р.Т. завершено







ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Морозова Виталия Михайловича** «Нелинейные модели радиационно-стимулированной диффузии точечных дефектов и роста когерентных структур в кристаллических средах», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – Теоретическая физика

Облучение материалов с целью получения в их объеме и на поверхности упорядоченных структур, состоящих из точечных дефектов, является перспективным направлением дизайна новых материалов с заданными свойствами, что определяет актуальность теоретических исследований процессов, лежащих в основе роста сверхрешеток. Автор рассматривает различные модели роста сверхрешеток, в основе которых лежит уравнение нелинейной диффузии. Для анализа уравнений используются как уже известные методы, например метод многомасштабных разложений, так и введенный в данной работе метод нелинейных функциональных подстановок. Модели кинетики точечных дефектов, основанные на уравнении диффузии, широко применяются для описания кластеризации в кристаллической среде, однако, как показано в диссертации, известные модели обладают рядом недостатков: использование постоянного коэффициента диффузии, соответствующего равновесной концентрации точечных дефектов в необлученном материале; источник дефектов отождествляется с источником внешнего излучения, т.е. не учитывается влияние дефектов на скорость генерации, что приводит к неограниченному росту концентраций.

В работе обосновано использование нелинейного коэффициента диффузии и получены решения, описывающие волновые и локализованные структуры. Стоит отметить, что в Главе 4 диссертации вводится новая модель «быстрая релаксация-медленная диффузия» (БРМД), описывающая начальную стадию роста. В Главе 5 рассматривается модель БРМД с ограниченным источником дефектов, и исследуются различные режимы роста сверхрешеток.

В диссертации получены следующие основные результаты:

1. Разработана математическая модель радиационно-стимулированной диффузии точечных дефектов, на основе процессов быстрой релаксации и медленной диффузии. В рамках предложенной модели получены условия роста когерентных структур.
2. Разработаны методы анализа уравнений нелинейной диффузии точечных дефектов и получены новые решения, описывающие рост локализованных и периодических структур.
4. В модели "быстрая релаксация-медленная диффузия" учтено влияние точечных дефектов на процесс их генерации и описан эффект насыщения концентраций. Получены распределения концентрации по глубине материала.

К недостаткам, которые присутствуют в тексте автореферата, относится следующее: при обсуждении стадий роста структуры, не указано, какой интервал времени считается начальной стадией.

Полученные результаты обладают существенной новизной и могут быть использованы в дальнейших исследованиях процессов радиационно-стимулированного роста упорядоченных структур.

По материалам диссертации своевременно опубликованы статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

На основании материалов автореферата можно сделать вывод о том, что диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, согласно п. 2.2 раздела II (кандидатская) Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов», утвержденного ученым советом РУДН протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а её автор, Морозов Виталий Михайлович, заслуживает присуждения ученой

степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 -
Теоретическая физика.

Кревчик Владимир Дмитриевич
декан факультета информационных технологий и электроники
Пензенского государственного университета
доктор физико-математических наук
01.04.10 Физика полупроводников и диэлектриков,
профессор

20.05.2024

В.Д. Кревчик

Семенов Михаил Борисович
заведующий кафедрой «Физика»
Пензенского государственного университета
доктор физико-математических наук
01.04.07 Физика конденсированного состояния,
профессор

20.05.2024

М.Б. Семенов

Почтовый адрес: 440026, г. Пенза, ул. Красная, д. 40

Контактный телефон: +7(8412)20-83-90

Адрес электронной почты: physics@pnzgu.ru

Подписи Кревчика В.Д. и Семенова М.Б. заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета

Пензенского государственного университета

К.т.н., доцент



О.С. Дорофеева

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Морозова Виталия Михайловича «Нелинейные модели радиационно-стимулированной диффузии точечных дефектов и роста когерентных структур в кристаллических средах», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – Теоретическая физика

Для ядерной энергетики высокую важность имеет задача разработки материалов, сохраняющих в условиях облучения свои свойства на уровне, обеспечивающем работоспособность используемых конструкций, что невозможно без ясного понимания закономерностей и количественного описания процессов, происходящих в материалах под облучением. Эта задача является достаточно сложной, так как изучаемые системы являются многокомпонентными с лишь приближенно воспроизводимыми составами и начальными состояниями, которые подвергаются широкому спектру воздействий с недостаточно точно известными параметрами.

Важность прогнозирования поведения микроскопических и макроскопических свойств материалов под действием радиационного облучения, их изменений в процессе эксплуатации, определяет актуальность представленного диссертационного исследования, основной целью которого являются определение критериев радиационно-стимулированного роста когерентных структур в кристаллических средах и рассмотрение новых методов анализа нелинейных уравнений для выяснения физических закономерностей нелинейной диффузии точечных дефектов.

В своей работе Морозов В.М. рассматривает процессы диффузии точечных дефектов в неоднородной среде с распределенными источниками/стоками, описываемые уравнением нелинейной диффузии (УНД). Предложенный автором метод нелинейных функциональных подстановок позволил получить локализованные и волновые решения УНД. В случае постоянного коэффициента диффузии, установлена связь между решениями соответствующего параболического уравнения и решениями квазилинейных уравнений первого порядка, которые определяют нелинейные свойства решений и описывают распространение сингулярных локализованных структур.

Основное внимание в работе уделено моделям радиационно-стимулированной диффузии точечных дефектов с нелинейной зависимостью коэффициента диффузии от концентрации, так называемой модели «быстрая релаксация – медленная диффузия» в которой система уравнений динамики точечных дефектов разбивается на уравнения, описывающие «быстрые»

процессы релаксации и уравнения, описывающие рост упорядоченной структуры. Показано, что на начальной стадии формирования структуры, когда генерация дефектов не подавляется рекомбинацией, наблюдается неограниченное усиление начального распределения концентрации дефектов с волновыми числами меньше критического. Для функций медленных переменных, описывающих рост крупномасштабной периодической структуры (сверхрешеток), получены уравнения с зависимостью эффективного коэффициента диффузии от интенсивности внешнего излучения. Интенсивность внешнего излучения в этом случае определяет характер диффузионного процесса и является управляющим параметром, определяющим критическое значение волнового числа сверхрешетки, начиная с которого наблюдается ее рост.

В работе рассмотрена модель нелинейной диффузии с ограниченным источником точечных дефектов. Показано, что учет замедления генерации, связанного с деградацией материала, приводит к двум режимам образования упорядоченных структур – релаксационному, когда максимальная контрастность структуры достигается за конечное время, и асимптотическому, соответствующему установлению динамического равновесия.

Основные результаты работы опубликованы автором в 10 статьях, из которых 9 – в рецензируемых журналах, включенных в список ВАК, а также были представлены на многочисленных научных конференциях.

Отмечу некоторые недостатки и небрежности, наблюдающиеся в тексте автореферата: нумерация формул выходит за поля, опечатки по тексту. При описании пятой главы можно было бы привести числовые оценки масштабов структур.

Считаю, что все результаты, представленные в диссертации, являются оригинальными, представляют интерес для специалистов, работающих в области физики конденсированного состояния и нелинейной физики и имеют существенное значение для развития теории в соответствующей области науки и технологий.

На основании материалов автореферата можно сделать вывод о том, что представленная работа соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, согласно пп. 1.3, 1.9 и 2.2 Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов», утвержденного ученым советом РУДН (протокол № УС-1 от 22.01.2024) и введенного в действие приказом РУДН от

29.02.2024 № 132, а её автор, Морозов Виталий Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – Теоретическая физика.

Неустроев Виктор Степанович

В.С. 28.05.2024

Главный научный сотрудник отделения реакторного материаловедения,
доктор технических наук

Наименование организации: Акционерное общество «Государственный научный центр – научно-исследовательский институт атомных реакторов» (АО «ГНЦ НИИАР»)

Почтовый адрес: 433510, Ульяновская область, г. Димитровград,
Западное шоссе, д. 9

Телефон: (84235) 72992

Электронная почта: neustroev@niiar.ru

Подпись д.т.н. Неустроева Виктора Степановича заверяю:

Ученый секретарь АО «ГНЦ НИИАР»,
кандидат физико-математических наук

Д.А. Корнилов



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Морозова Виталия Михайловича**
**«Нелинейные модели радиационно-стимулированной диффузии
точечных дефектов и роста когерентных структур в кристаллических
средах»**, представленной к защите на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности

1.3.3 – Теоретическая физика

Разработка физических моделей, описывающих радиационно-стимулированный рост когерентных структур в кристаллических средах имеет высокую актуальность в связи с применением подобных структур для изменения свойств материалов, а также моделирования их поведения под действием радиационного излучения. Экспериментальные данные демонстрируют универсальность данного явления – крупномасштабные структуры растут при различных типах облучения, энергиях и температурах. Отсюда можно сделать вывод, что в основе роста, прежде всего, лежат процессы, присущие самой кристаллической решетке.

В представленной работе на основе экспериментальных данных делается попытка объяснения роста сверхрешеток в результате нелинейной диффузии точечных дефектов. Поскольку уравнения такого типа моделей являются нелинейными, то не существует единого способа получения их точных решений, имеющих нужные свойства.

В работе предлагается как подход для поиска точных решений и симметрий уравнений, основанный на методе функциональных подстановок, так и подход для поиска приближенных решений – адаптация метода многомасштабных разложений в применении к уравнению нелинейной диффузии.

С помощью перечисленных выше методов в работе получены решения, описывающие рост когерентных структур для различных зависимостей коэффициента диффузии от концентрации дефектов, как при наличии источника внешнего излучения, так и в случае его отсутствия. Эти результаты составляют одно из наиболее важных достижений диссертационной работы Морозова В. М.

Замечания по автореферату диссертации:

1. Содержание первой главы носит описательный характер и не содержит обоснования предлагаемых моделей диффузии.

2. В описании Главы 3 говорится о том, что зависимость коэффициента диффузии вида $D(n) \sim 1/n$ является распространенным случаем, при этом не приводится ссылок на литературу, подтверждающую это утверждение.
3. Вид для функций $u(t, x, T), v(t, x, T)$ на странице 10 представляет из себя полиномы по T определенного вида, при этом не уточняется причина выбора именно таких полиномов.
4. В описании Главы 5 приводятся графики распределения концентрации, но не говорится для какой зависимости коэффициента диффузии от концентрации они получены.


Результаты диссертационного исследования опубликованы в 10 статьях, из них 9 в рецензируемых журналах из списка ВАК, а также доложены на научных конференциях. Они обладают высокой оригинальностью и могут быть использованы в исследованиях свойств кристаллических материалов под облучением.

На основании материалов автореферата можно сделать вывод о том, что диссертационная работа Морозова В. М. является законченным научным трудом на актуальную тему, соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Морозов Виталий Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 - Теоретическая физика.

Ходаков Александр Михайлович

старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук
Ульяновский филиал Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института радиотехники и электроники им.

В.А.Котельникова Российской академии наук
Россия, 432071, г.Ульяновск, ул.Гончарова, 48/2
+7 (8422) 44-29-96, ulireran.ru

04.06.2024 

Подпись ФИО заверяю:

