

«УТВЕРЖДАЮ»  
Проректору по инновационной  
деятельности  
ФГБОУ ВО Уфимского государственного  
университета науки и технологий,  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_  
Г.К. Агеев  
«12 сентября» 2023 г.



## О Т З Ы В

### ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Морозовой Анны Сергеевны, на тему «Самосборка ряда короткоцепных олигопептидов с образованием микро- и нанообъектов и их свойства по данным сканирующей зондовой микроскопии», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по научной специальности 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

#### 1. Актуальность темы диссертации

Атомно-силовой микроскоп (АСМ) является прямым инструментом исследования поверхностных свойств различных объектов и материалов, а изучение и характеристики функциональных свойств отдельных наноразмерных объектов необходимы для поиска новых материалов и разработки стратегий их получения. Диссертационная работа А.С. Морозовой посвящена поиску и определению условий для направленной самосборки короткоцепных олигопептидов (ди- и трипептидов) с образованием наноструктур и кристаллов, обладающих практически полезными свойствами, а короткоцепные олигопептиды, способные к самосборке и самоорганизации с образованием различных наноструктур и наноматериалов; такие материалы биосовместимы, обладают биологической активностью, повышенной термостабильностью, рядом уникальных физических свойств и могут быть использованы при решении задач медицины, экологии, энергетики. Таким образом, актуальность представленной диссертационной работы не вызывает сомнений.

## **2.Теоретическая значимость**

В работе сформулированы общие принципы применения различных типов органических соединений для направленной самосборки олигопептидов в тонких пленках, нанесенных на подложки с различными поверхностными свойствами. Предложен возможный механизм формирования кристаллических структур олигопептидов на поверхности аморфных пленок под действием паров органических соединений, установлена критическая роль воды в этом процессе. Приведен способ использования параметров растворимости Хансена для предсказания возможного влияния паров органических соединений на морфологию аморфных пленок олигопептидов.

## **3.Практическая значимость**

В работе впервые проведено комплексное исследование влияния паров воды и органических соединений, а также природы подложек на морфологию поверхности тонких пленок ряда короткоцепных олигопептидов. Продемонстрированы пьезоэлектрические свойства микрокристаллов дипептидов L-лейцил-L-фенилаланин и L<sub>1</sub> фенилаланил-L-лейцин. Полученные результаты могут быть использованы при разработке подходов для управляемой самосборки олигопептидов, с целью получения новых биосовместимых материалов и экологически чистых микро- и наноустройств для решения задач медицины, экологии, энергетики.

## **4.Апробация результатов**

Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на II Международной школе-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Материалы и технологии XXI века», г.Казань (2016), Международной молодежной научной школе «Когерентная оптика и оптическая спектроскопия», г.Казань (2016,2017,2019), Международной научной конференции «Сканирующая зондовая микроскопия», г.Екатеринбург, УрФУ (2017-2019,2022), Международной конференции молодых ученых International conference Physica.SPb/2017, г.Санкт-Петербург (2017), Международном симпозиуме «Нанопизика и наноэлектроника», г. Нижний Новгород (2019-2023), Российской конференции по электронной микроскопии, г.Черноголовка (2020,2022), Объединенной конференции «Электронно-лучевые технологии и рентгеновская оптика в микроэлектронике», г.Черноголовка (2021)



### **5. Для решения поставленной цели диссертантке необходимо было:**

1. Исследовать влияние природы подложек на формирование наноструктур на поверхности пленок ди- и трипептида на основе глицина под действием паров органических соединений и воды.
2. Провести исследование влияния воды и природы паров органических соединений, а также количества аминокислотных остатков в молекуле олигопептида, на самосборку ди- и трипептида на основе глицина в тонких пленках.
3. Изучить механизм формирования кристаллических наноструктур на основе глицил-глицина.
4. Исследовать влияние порядка следования аминокислотных остатков в дипептидах, содержащих фенилаланин и лейцин, на тип формирующихся структур и их свойства.
5. Исследовать физические свойства, полученных наноструктур на основе олигопептидов, методами сканирующей зондовой микроскопии, включая атомно-силовую спектроскопию и силовую микроскопию пьезоотклика.

### **6. Структура и содержание диссертации**

**Во введении** дана общая характеристика диссертационной работы, даётся обоснование актуальности темы диссертации, формулируются цель работы и основные положения, выносимые на защиту. Даётся обоснование новизны и практической значимости полученных результатов, приведены структура и краткое содержание диссертации. Там же описан личный вклад автора, апробация работы, приведены сведения о публикациях по материалам диссертации.

**В первой главе** приведен краткий литературный обзор по теме исследования. Представлены сведения об олигопептидах и их свойствах. Описываются методы формирования наноструктур на основе олигопептидов за счет самоорганизации олигопептидов и самосборки: получение наноструктур из растворов олигопептидов в различных растворителях и формирование наноструктур в тонких пленках. Далее в главе обсуждаются факторы, влияющие на самоорганизацию и самосборку олигопептидов, такие как: тип, количество и порядок следования аминокислотных остатков, входящих в состав олигопептида; растворитель, из которого происходит кристаллизация наноматериала; влажность; температура и др. Заключительная часть первой главы посвящена актуальности исследования олигопептидов и перспективам

применения биосовместимых материалов в различных технологиях, в частности микро- и наноэлектронике.

**Во второй главе** описываются экспериментальные методы и установки, использованные в ходе работы над диссертацией. В данной главе приводятся описание образцов и объектов, использованных в работе, методики получения аморфных пленок олигопептидов и насыщения таких пленок парами органических соединений.

**Третья глава** посвящена результатам исследования и разделена на 4 раздела.

**В разделе 3.1** представлены результаты исследования влияния подложки на морфологию поверхности пленок олигопептидов. Для этого были использованы гидрофобный ВОПГ, слюда, свежий скол которой несет отрицательный заряд и монокристаллический кремний, поверхность которого, в зависимости от обработки, может быть гидрофильной или гидрофобной. Аморфные пленки GlyGly и GlyGlyGly, нанесенные на различные подложки, насыщали парами органических соединений с термодинамической активностью  $P/P_0 = 1$  в герметичных системах не менее 1 часа.

**Раздел 3.2** посвящен результатам исследования влияния паров органических соединений на самосборку олигопептидов в тонкой пленке. Аморфные пленки GlyGly и GlyGlyGly, нанесенные на различные подложки, насыщали парами органических соединений с термодинамической активностью  $P/P_0 = 1$  в герметичных системах не менее 1 часа. Для насыщения пленок олигопептидов парами использовались растворители, относящиеся к разным классам органических соединений.

**Раздел 3.3** посвящен результатам исследования влияния воды на самосборку GlyGly в присутствии паров ряда органических соединений, таких как протонодонорный хлороформ ( $\text{CHCl}_3$ ), апротонные растворители дихлорметан ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) и тетрахлорметан ( $\text{CCl}_4$ ), а также гидрофобный бензол ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ). С помощью АСМ было установлено, что при влажности воздуха близкой к 0% взаимодействие аморфных пленок GlyGly с парами этих соединений не приводит к формированию упорядоченных структур. Была исследована морфология поверхности пленок GlyGly после насыщения смесью паров органических соединений и воды в соотношении 20:1 по объему (40:1 для дихлорметана) в течение различного времени. Установлено, что кристаллизация аморфной пленки GlyGly происходит только при наличии паров



воды в системе и зависит от используемого для 13 насыщения пара и времени насыщения. Скорость самосборки GlyGly при взаимодействии с парами смеси  $C_6H_6/H_2O$  и  $CCl_4/H_2O$  выше, чем в системе со смесями  $CH_2Cl_2/H_2O$  и  $CHCl_3/H_2O$ .

**Раздел 3.4** посвящен результатам исследования влияния порядка следования аминокислотных остатков в L-фенилаланил-L-лейцин и L-лейцил-L-фенилаланин на их самосборку, а также пьезоэлектрические свойства полученных наноструктур.

#### **7. Рекомендации по использованию полученных материалов**

Диссертационная работа Морозовой А.С. представляет собой законченное исследование, имеющее существенное научное и практическое значение. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в высших учебных заведениях и научно-исследовательских учреждениях, например, Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН, Казанском федеральном университете, МГУ им. М.В. Ломоносова, Институте общей физики РАН (Москва) и др.

#### **8. Публикации**

Результаты работы опубликованы в 22-х печатных работах, из них 4 статьи в рецензируемых научных журналах из списка ВАК и представлены на Всероссийских и международных конференциях.

**9. Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения (выводов), списка авторской литературы и списка использованных источников, включающего 117 наименований. Объем диссертации насчитывает 120 страниц машинописного текста, включая 63 рисунка.

**10. Автореферат** в целом отражает содержание данной диссертации.

**11. Отметим недостатки** рецензируемой работы:

1. В работе не указаны смачиваемость пленок и их адсорбционные характеристики.

2. Не приводятся термодинамические данные по теплотам адсорбции и смачивания пленок.

3. Указано, что энергетический выигрыш цвиттер-ионной формы по сравнению с молекулярной формой GlyGly составляет - 592.6 кДж моль<sup>-1</sup>; Эти данные явно завышены, так как энергии водородных связей не превышают 100 кДж моль<sup>-1</sup>.

4. В квантовых расчетах не учитывается влияние среды.

5. В работе много информации описательного характера и недостаточно расчетных и статистических данных.

Указанные недостатки, не изменяют общую положительную оценку диссертации в целом, как актуального научного исследования, содержащего новые и достоверные результаты, которые можно использовать практически.

## **12. Обоснование выбранной специальности и отрасли науки диссертации.**

Диссертация «Самосборка ряда короткоцепных олигопептидов с образованием микро- и нанообъектов и их свойства по данным сканирующей зондовой микроскопии» соответствует паспорту специальности 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества. При этом работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности:

1. Атомно-молекулярная структура химических частиц и веществ, механизмы химического превращения, молекулярная, энергетическая, химическая и спиновая динамика элементарных процессов, теории скоростей химических реакций и экспериментальные методы исследования структуры и динамики химических превращений, в том числе в межзвездной среде.

2. Пространственное и электронное строение, атомно-молекулярные параметры и спектральные характеристики изолированных атомов и молекул, а также их ионов; структура и свойства вандерваальсовых комплексов, ритберговских молекул, кластеров, ассоциатов, пленок, адсорбционных слоев, интеркалятов, межфазных границ, мицелл, дефектов; структура и свойства кристаллов, аморфных тел, жидкостей; поведение веществ и структурнофазовые переходы в экстремальных условиях – в электрических и магнитных полях, в условиях статического и динамического сжатия, в полях лазерного излучения, в плазме и в гравитационных полях, при сверхнизких температурах и в других условиях.

3. Молекулярная динамика, межмолекулярные потенциалы и молекулярная организация веществ; компьютерное моделирование как метод изучения структуры и динамики многоатомных систем; динамические теории в описании упругости, релаксации, пластической деформации, теплопроводности, реологии; динамика фазовых переходов.

4. Селективное заселение возбужденных электронных, колебательных и вращательных состояний молекул; обмен и передача энергии между различными



состояниями внутри молекулы и межмолекулярный энергетический обмен; релаксация внутренней энергии в кинетическую и в энергию решетки; особенности энергетической динамики в газах, кластерах, жидкостях, твердых телах и межфазных границах; энергетика химических реакций и механизмы запасания энергии в молекулах.

5. Поверхности потенциальной энергии взаимодействующих атомномолекулярных частиц, квантово-химические методы их расчета; динамика движения реагентов на потенциальной поверхности; методы динамических траекторий и статические теории скоростей химических реакций; туннельные эффекты в химической динамике; превращение энергии в элементарных процессах и химические лазеры; химические механизмы реакций и управление реакционной способностью; когерентные процессы в химии, когерентная химия – квантовая и классическая; спиновая динамика и спиновая химия; лазерно-индуцированная химия и фемтохимия; молекулярная спектроскопия высокого и сверхвысокого разрешения, химия одиночных молекул и кластеров; экспериментальные методы исследования химической, энергетической и спиновой динамики.

6. Прецизионные расчеты строения, свойств и спектральных характеристик экзотических, высокоактивных, модельных и практически важных соединений, экспериментальное изучение которых сильно затруднено или невозможно в современных лабораторных условиях.

7. Теоретический анализ специфики строения и превращений возбужденных (электронных, колебательных и вращательных) состояний молекул и молекулярных систем, анализ устойчивости метастабильных соединений, в том числе соединений с высоким запасом энергии.

8. Анализ и компьютерное моделирование строения, свойств и спектральных характеристик молекул и веществ в электромагнитных полях различной напряженности, частоты и периодичности воздействия, в акустических полях, полях механических напряжений, при сверхвысоких давлениях и температурах, при радиационном воздействии и т.п.

9. Строение, структура и реакционная способность интермедиатов химических реакций; химические механизмы и физика каталитических процессов; динамика, структура и спектроскопия каталитически активных поверхностей.

10. Закономерности и механизмы распространения, структура, параметры и устойчивость волн горения, детонации, взрывных и ударных волн; связь химической и физической природы веществ и систем с их термохимическими параметрами, характеристиками термического разложения, горения, взрывчатого превращения; термодинамика, термохимия и макрокинетика процессов горения и взрывчатого превращения;

11. Процессы аналоги горения, детонации и взрыва; взаимодействие волн горения и взрывчатого превращения со средой, объектами и веществами; явления, порождаемые горением и взрывчатым превращением; процессы горения и взрывчатого превращения в устройствах и аппаратах для производства энергии, работы, получения веществ и продуктов; управление процессами горения и взрывчатого превращения;

12. Вопросы пожаро- и взрывобезопасности веществ, материалов, процессов.

**Заключение.** Тема диссертационной работы полностью соответствует научной специальности 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества. В диссертационной работе разработана технология получения и нанесения пленок органических молекул- олигопептидов для создания нового поколения приборов нанoeлектроники. Диссертационная работа А.С. Морозовой является завершенной научно-квалификационной работой, по объему и научному уровню полученных результатов отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 (с изменениями) и содержит решение научно-технической задачи пленок олигопептидов, а ее автор, Морозова Анна Сергеевна, безусловно, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата химических наук по научной специальности 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Настоящий отзыв рассмотрен и одобрен на научном семинаре кафедры физической электроники и нанофизики.

Присутствовали на заседании 8 человек, в том числе 3 доктора наук.

Протокол № 1 от «4 сентября» 2023 года.

Голосовали «за»- 8 чел.

«против»- 0 чел.;

«воздержались»- 0 чел.;



Отзыв составили:

Профессор кафедры  
физической электроники и нанофизики  
УУНиТ, доктор физико-математических наук



Рауф Загидович Бахтизин

Профессор кафедры  
физической электроники и нанофизики  
УУНиТ, доктор химических наук



Михаил Юрьевич  
Доломатов

Заведующий кафедрой  
физической электроники и нанофизики  
УУНиТ, канд. физико-математических наук  
доцент



Талгат Ишмухамедович  
Шарипов

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»

Почтовый адрес:

450076, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д.32 главный корпус, каб. 201.

тел.: +7-347-229-96-16; +7-987-272-63-70

e-mail: rector@uust.ru