

УТВЕРЖДАЮ

Ректор учреждения образования
«Гомельский государственный
технический университет имени
П.О. Сухого»



А.В. Путято

«23» ноября 2022 г.

ОТЗЫВ

оппонирующей организации УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» о диссертационной работе Лю Имина «Композиционные полимерсодержащие покрытия с регулируемыми поверхностными свойствами, осаждаемые из активной газовой фазы», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Экспертиза, диссертации, автореферата и основных публикаций по теме диссертационной работы проводились в соответствии с приказом №197 от «17» ноября 2022.

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки.

Выполненные в диссертационной работе исследования посвящены разработке функциональных покрытий с регулируемыми гидрофобными свойствами, сорбционной активностью, установлению закономерностей их осаждения из газовой фазы, генерируемой воздействием потока низкоэнергетических электронов на мишень в вакууме, особенностей процессов структурообразования на подложке.

Диссертационная работа Лю Имина «Композиционные полимерсодержащие покрытия с регулируемыми поверхностными свойствами, осаждаемые из активной газовой фазы» по решаемым в ней задачам и объекту исследований, полученным результатам, основным выводам и положениям соответствует пунктам 1, 2, 4, 5, паспорта специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния (технические науки), утвержденного ВАК Республики Беларусь от 2.02.2018 г. № 40:

п. 1. Методы получения, измерения параметров и модификации материалов (физические и технические аспекты);

п. 2. Элементный и фазовый состав, структура и физические свойства конденсированных сред;

п. 4. Химические связи в конденсированных средах. Свойства конденсированных сред с дефектами структуры;

п. 5. Изменение состава, структуры и свойств конденсированных сред внешними воздействиями.

Доведение результатов работы до рекомендаций к практическому использованию для модифицирования трековых мембран, применяемых в технологии дистилляции воды (фторсодержащие покрытия) (ОИЯИ, Россия), защиты элементов оптических лазерных систем от влаги (кремнийорганические покрытия) (СОЛАР ЛС, Беларусь), гидрофильные покрытия для нанесения на поверхность полимерных медицинских катетеров и сеток для снижения коэффициента трения (НП ООО «Медбиотех», Беларусь) позволяет сделать заключение о соответствии диссертации отрасли технических наук.

Таким образом, диссертационная работа Лю Имина соответствует специальности и отрасли науки, по которой она представлена к защите: 01.04.07 – физика конденсированного состояния, отрасли – технические науки, и профилю совета по защите диссертаций Д 01.14.01.

2. Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой ее значимости

Соискателем экспериментально определены закономерности осаждения покрытий на основе кремнийорганических низкомолекулярных соединений, обоснована возможность и получены супергидрофобные композиционные покрытия в результате инициирования потоком низкоэнергетических электронов экзотермических межкомпонентных взаимодействий в мишени, получены гидрофильные покрытия на основе целлюлозы, способные длительно высвобождать в водные среды органические соединения, установлены закономерности самопроизвольных процессов структурообразования в многослойных покрытиях, приводящих к образованию гидроксиапатита.

Научная значимость полученных результатов состоит, прежде всего, в установлении структурных закономерностей процессов формирования композиционных покрытий на основе низкомолекулярных кремнийорганических соединений с заданными гидрофобными и гидрофильными свойствами, микрокристаллической целлюлозы, дальнейшего развития представлений о формировании покрытий с заданным комплексом гидрофобных свойств в результате иницируемого потоком электронов экзотермического межкомпонентного взаимодействия в мишени, об особенностях структурообразования в многослойных системах в результате самопроизвольного поглощения ими атмосферной влаги.

3. Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень.

Лю Имин заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния (технические науки) за следующие научно обоснованные результаты:

1. Разработку методики осаждения композиционных покрытий на основе кремнийорганических соединений и фторсодержащих полимеров из летучих продуктов электронно-лучевого диспергирования, позволяющей управлять структурой кремнийорганической матрицы и регулировать в широких пределах (от 90 до 160°) значение краевого угла смачивания водой. Обоснование состава композиционной мишени на основе кремнийорганической смолы, галогенсодержащих полимеров, магния, позволяющего осаждать покрытия с супергидрофобными свойствами.

2. Установление закономерностей осаждения покрытий из летучих продуктов диспергирования микрокристаллической целлюлозы и результаты исследования их структуры и свойств, а именно образование в молекулярной структуре тонкого слоя при термообработке (200°C) аморфных углеродных структур с шириной запрещенной зоны $E_g = 3,57$ эВ. Что позволило получить стойкие к действию водных сред покрытия на основе микрокристаллической целлюлозы и оксида фосфора (V).

3. Экспериментальное обоснование возможности регулирования гидрофобных свойств покрытий ПТФЭ введением в состав мишени соединений железа и алюминия, экзотермически взаимодействующих под действием низкоэнергетического потока электронов, что приводит к повышению дефектности молекулярной структуры фторуглеродной матрицы.

4. Определение закономерностей формирования, состава и структуры многослойных покрытий на основе кремнийорганических соединений, Mg, CaH₂, P₂O₅ и Zn, полученных последовательным электронно-лучевым осаждением отдельных компонентов из газовой фазы. Установление порядка размещения слоев покрытия, характеризующегося высокой сорбционной активностью влаги. Установления механизма трансформации многослойных систем в кристаллические формы гидроксиапатита при выдержке в буферном растворе, имитирующий среду организма.

Практическая значимость заключается в том, что разработанные технологические приемы нанесения и составы кремнийорганических композиционных гидрофобных / супергидрофобных покрытий могут быть рекомендованы к использованию для модифицирования трековых мембран, применяемых в технологии дистилляции воды, защиты солевых элементов

оптических лазерных систем от влаги, гидрофильные покрытия могут быть рекомендованы для нанесения на поверхность полимерных медицинских катетеров и сеток для снижения коэффициента трения. Модифицирование тканевых материалов покрытиями на основе целлюлозы позволяет придать им антибактериальные и противогрибковые свойства, снизить скорость десорбции влаги с его объема в результате образования на поверхности волокон гидрогеля. Нанесение на поверхность имплантатов многослойных систем на основе Mg, CaH_2 , Zn и фосфорсодержащих соединений может способствовать быстрому срастанию металлического имплантата с костной тканью. Полученные покрытия прошли практическую опрабацию в ОИЯИ (Россия), СОЛАР ЛС (Беларусь), НП ООО «Медбиотех» (Беларусь). Результаты, полученные в ходе выполнения работы, используются при проведении лабораторных работ, чтении лекций по курсам «Физика тонких пленок и покрытий», «Нanomатериалы и нанотехнологии» на физическом факультете ГГУ им. Ф. Скорины.

4. Замечания по диссертационной работе

1. Для покрытий на основе микрокристаллической целлюлозы были определены значения ширины запрещенной зоны. По мнению соискателя, это является косвенным доказательством образования наночастиц углерода. Проведение исследований с помощью просвечивающей электронной микроскопии позволило бы получить прямое доказательство сделанного предположения.

2. В работе отсутствует сравнительный анализ свойств покрытий на основе кремнийорганической смолы и кремнийорганических жидкостей.

3. При анализе рентгенограмм покрытия и четырехслойной системы $\text{Mg} + \text{CaH}_2 + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K-42}$ указывается наличие интенсивного двойного пика $2\theta = 33,95^\circ; 34,05^\circ$. При этом из рисунка 24 (стр. 94) этого не видно, следовало бы в данном контексте изменить масштаб представления рентгенограмм.

4. В диссертации встречаются технические опечатки, так в таблицах 3 и 4 при указании единиц измерения степень -1 напечатана с переносом 1, на стр. 69 нет разделения между завершением абзаца и таблицей 6, на стр. 72 название раздела 3.4 следовало бы сместить на 73.

Однако, отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы и их следует рассматривать как пожелания при дальнейшем развитии темы диссертации.

5. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Приведенные в диссертационной работе результаты и рекомендации являются обоснованными, выводы аргументированы и отражают научные положения, представленные в работе. Достоверность результатов работы подтверждается комплексным подходом к исследованиям и обоснованной, соответствующей современным представлениям материаловедения и физики конденсированного состояния, интерпретацией экспериментальных данных. Сделанные в работе выводы базируются на результатах экспериментальных исследований. Основные положения диссертации и результаты исследований опубликованы в рекомендованных ВАКом рецензируемых научных журналах, их достоверность не вызывает сомнения.

Совокупность научных и практических результатов, представленных в диссертационной работе Лю Имина, свидетельствуют о соответствии квалификации соискателя ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация соответствует п. 20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы. Уровень научной подготовки Лю Имина соответствует квалификации кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния (технические науки). Соискатель был заслушан на научном семинаре (пр. №2, от 23.11.22).

6. Рекомендации по использованию результатов диссертации, которые могут найти практическое применение

Диссертационная работа Лю Имина содержит ряд технических решений, представляющих большой практический интерес. В числе наиболее значимых следует отметить разработку составов кремнийорганических композиционных гидрофобных / супергидрофобных покрытий рекомендованных к использованию для модифицирования трековых мембран, применяемых в технологии дистилляции воды (фторсодержащие покрытия), защиты солевых элементов оптических лазерных систем от влаги. Полученные в работе гидрофильные покрытия могут быть рекомендованы для нанесения на поверхность полимерных медицинских катетеров и сеток для снижения коэффициента трения, придания тканевым материалам антибактериальных и противогрибковых свойства, образования на поверхности волокон ткани гидрогеля при ее взаимодействии с водными средами.

Для модифицирования изделий медицинского назначения (имплантатов, фиксирующих элементов и др.) рекомендуются предложенные покрытия основе Mg, CaH₂, P₂O₅, этидроната и Zn, полученных

последовательным осаждением отдельных компонентов из газовой фазы, образованной их электронно-лучевым испарением в вакууме. При их выдержке в физиологических средах такие многослойные системы трансформируются в кристаллические формы гидроксиапатита, имеющий состав костной ткани. Нанесение подобных многослойных систем способствует быстрому срастанию металлического имплантата с костной тканью. Это было подтверждено при выполнении проектов «Intergovernmental Cooperation Projects in the National Key Research and Development Plan of the Ministry of Science and Technology of PRC (№ 2016YFE0111800) and Nanjing University of Science & Technology Independent Research Project (№ 30919013301)». Разработанные в рамках данного проекта технологические решения прошли клинические испытания в медицинских учреждениях на территории КНР.

7. Заключение.

Диссертационная работа Лю Имина «Композиционные полимерсодержащие покрытия с регулируемыми поверхностными свойствами, осаждаемые из активной газовой фазы», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной квалификационной научной работой, самостоятельно подготовленной соискателем, которая по уровню научной новизны, практической значимости удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий», а Лю Имин заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния (технические науки) за:

- установление закономерностей осаждения гидрофобных / супергидрофобных покрытий из летучих продуктов электронно-лучевого диспергирования кремнийорганических соединений различной природы, фторсодержащих полимеров и магния, определение их молекулярной структуры, краевых углов смачивания водой и глицерином, влияния температуры на процессы структурообразования;

- установление особенностей структуры покрытий на основе микрокристаллической целлюлозы, формируемых в процессе воздействия низкоэнергетического потока электронов на исходное высокомолекулярное соединение, влияния температуры на процессы структурообразования, возникновения углеродных фрагментов, формирование стойкой к действию водных сред структуры;

- определение закономерностей формирования, состав и структуру многослойных покрытий на основе кремнийорганических соединений, Mg,

CaH_2 , P_2O_5 и Zn , полученных последовательным электронно-лучевым осаждением отдельных компонентов из газовой фазы. Установление порядка размещения слоев покрытия, механизм трансформации многослойных систем в кристаллические формы гидроксиапатита при выдержке в SBF растворе;

– определение особенностей регулирования в широких пределах гидрофобных свойств покрытий ПТФЭ путем их модифицирования соединениями железа и алюминия на стадии электронно-лучевого диспергирования механических смесей в условиях протекания в мишени экзотермических процессов, приводящих к интенсивному дефторированию и образованию дефектов в молекулярной структуре фторуглеродной матрицы.

что в совокупности позволило разработать новые технологические приемы нанесения и составы гидрофобных / супергидрофобных и гидрофильных покрытий на основе кремнийорганических соединений и полимеров, обосновать и получить многослойные тонкопленочные слои, трансформирующиеся в кристаллические формы гидроксиапатита.

Отзыв учреждения образования «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого» о диссертационной работе Лю Имина принят по результатам экспертизы диссертации и обсуждения доклада соискателя на заседании научного семинара (протокол № 2, от 23 ноября 2022 г.) учреждения

На заседании научного семинара присутствовали 10 человек. Из них 3 докторов технических наук, 4 кандидатов технических наук.

Проголосовали: «за» – 7; «против» – нет; «воздержались» – нет.

Председатель семинара – профессор кафедры
«Металлургия и технология
обработки материалов»,
д.т.н., профессор



М.Н. Верещагин

Эксперт – проректор по научной работе
УО «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого»,
д.т.н., доцент



А.А. Бойко

Секретарь семинара – старший преподаватель
кафедры «Металлургия и технология
обработки материалов»,



Ю.В. Мартьянов