

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Лю Имина** «Композиционные полимерсодержащие покрытия с регулируемыми поверхностными свойствами, осаждаемые из активной газовой фазы», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

1. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите

В диссертационной работе Лю Имина «Композиционные полимерсодержащие покрытия с регулируемыми поверхностными свойствами, осаждаемые из активной газовой фазы» представлены результаты создания функциональных тонких вакуумных покрытий с регулируемыми гидрофобными / гидрофильными свойствами при осаждении на поверхность из газовой фазы, а также формирования тонких слоев сложной структуры и состава в результате протекания самопроизвольных процессов, активируемых сорбцией тонким слоем атмосферной влаги.

Диссертация соответствует отрасли технических наук, так как ее основной целью является решение прикладных технических и технологических задач в области физики конденсированного состояния.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния (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»; п.8. «Физика и техника диспергированных и композиционных материалов»).

Объекты, цели и задачи выполненных исследований, использованные экспериментальные и аналитические методы и методики, полученные результаты полностью соответствуют тематике специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

2. Актуальность темы диссертации

Использование газовых сред и плазменных методов позволяет формировать наноконпозиционные слои покрытия различного состава из термодинамически несовместимых материалов, а также практически реализовывать условия интенсивного взаимодействия материала покрытия с поверхностью

подложки. Возможность придания готовым изделиям заданных поверхностных гидрофобных / гидрофильных свойств без использования жидких сред и проведения сушки является актуальным и перспективным направлением поверхностного модифицирования. Немаловажным является факт, что поверхностное модифицирование не оказывает заметного влияния на объемные характеристики материала. Тонкие покрытия различного функционального действия широко востребованы в различных отраслях.

В технологии создания костных имплантатов в настоящее время интенсивно применяется кристаллический гидроксиапатит. Недостатком наиболее распространенного плазменного метода нанесения гидроксиапатита является высокий уровень внутренних напряжений в покрытии, воздействие на металлическую основу высоких температур, способных приводить к короблению изделия. Поиск технологических способов нанесения кристаллических слоев гидроксиапатита, не имеющих отмеченных недостатков, является актуальным направлением в области физики тонкопленочных систем.

В диссертационной работе предложены способы обеспечения материалам определенных поверхностных свойств, проведен анализ особенностей структурообразования, влияния температуры и плазменной обработки на структуру и свойства наносимых покрытий, что необходимо для расширения области практического использования разработанных покрытий, решения частных задач. Все выше отмеченное определяет высокую научную и практическую ценность выполненных в диссертационной работе Лю Имина исследований и их актуальность.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, вынесенных на защиту

Новизна полученных результатов и научных положений, которые выносятся на защиту, определяется, прежде всего, тем, что экспериментально разработаны новые функциональные покрытия на основе низкомолекулярных кремнийорганических соединений и фторсодержащих полимеров, на основе целлюлозы и оксида фосфора, а также многослойные покрытия, способные трансформироваться в биологических средах с структуру гидроапатита.

К наиболее важным научным результатам Лю Имина, характеризующихся новизной, можно отнести следующие результаты диссертации:

- получены вакуумные покрытия, в том числе и композиционные, на основе жидких кремнийорганических соединений, определена их структура и поверхностные свойства;
- получены супергидрофобные покрытия на основе металлического магния, фторсодержащих полимеров и кремнийорганической смолы в ре-

зультате инициирования потоком низкоэнергетических электронов экзотермического взаимодействия между компонентами композиционной мишени;

- показана возможность направленного придания заданных гидрофобных свойств покрытиям на основе ПТФЭ путем добавления в полимерную мишень соединений железа и алюминия, экзотермически взаимодействующих друг с другом;

- получены гидрофильные сшитые покрытия на основе микрокристаллической целлюлозы, способные длительное время высвобождать в водную среду активные соединения;

- разработаны составы тонкослойных покрытий, в биологической среде трансформирующиеся в кристаллический гидроксиапатит.

Таким образом, полученные в диссертационной работе результаты исследований и выносимые на защиту положения обладают несомненной научной новизной и вносят существенный вклад в развитие физики конденсированного состояния.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов работы подтверждается комплексным подходом к исследованиям и обоснованной, соответствующей современным представлениям материаловедения и физики конденсированного состояния интерпретацией полученных экспериментальных данных. В работе применялись такие современные методы исследования физико-химических взаимодействий, морфологии композитов и их структуры, как ИК-спектроскопия с Фурье преобразованием, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС), рентгеноструктурный анализ, электронная и атомно-силовая микроскопия и др.

Обоснованность разработанных в диссертационной работе практических рекомендаций подтверждена результатами лабораторных и клинических исследований, проведенных в КНР сотрудниками Международной Китайско-белорусской научной лаборатории по вакуумно-плазменным технологиям.

Сделанные в диссертационной работе выводы базируются на результатах значительного количества экспериментальных исследований и отвечают поставленным задачам. Они согласуются с экспериментальными данными других исследователей и базируются на обобщении мирового опыта, известных литературных и собственных данных в области получения тонких покрытий из газовой фазы. К диссертации приложены акты внедрения разработанных покрытий.

Основные результаты диссертации и результаты исследований опубликованы в рекомендованных ВАК рецензируемых научных журналах, , апро-

бировааны на междунароаных наочно-технических конференциях, их достоверность не вызывает сомнения.

5. Научная, практическая, эакономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Научная значимость результатов диссертационной работы заключается в установлении особенностей формирования структуры покрытий с заданными гидрофобными (супергидрофобными) / гидрофильными свойствами на основе низкомолекулярных кремнийорганических соединений или микрокристаллической целлюлозы, обоснование возможности регулирования гидрофобных свойств путем инициирования в зоне диспергирования экзотермических взаимодействий между компонентами мишени, а также обоснование структуры и состава многослойных покрытий, которые сорбируя атмосферную влагу превращаются в кристаллический гидроксиапатит.

Практическая значимость заключается в разработке технологических приемов формирования гидрофобных (супергидрофобных) / гидрофильных покрытий, гидрофильных покрытий способных к пролонгированному высвобождению активных соединений в водные среды, самопроизвольного формирования кристаллических слоев гидроксиапатита без значительного термического воздействия на подложку.

Социально-экономическая значимость заключается в применении многослойных систем на основе Mg, CaH₂, P₂O₅, этидроната и Zn для нанесения на поверхность имплантатов с целью стимулирования процессов срастания имплантата с костной тканью. Результаты исследований использованы 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 данных проектов технологические решения прошли клинические испытания, подтвердившие перспективность предложенного подхода.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

По степени опубликованности результатов диссертационная работа полностью соответствует требованиям ВАК. Основное содержание диссертации изложено в 11 статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, из которых 9 статей соответствуют п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, а также в 2 статьях материалов научных конференций.

Общий объем работ составляет 8,1 авторских листов.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертационная работа Лю Имина «Композиционные полимерсодержащие покрытия с регулируемыми поверхностными свойствами, осаждаемые из активной газовой фазы» является законченной научно-исследовательской работой, которая выполнена автором самостоятельно, по объему и содержанию соответствует требованиям п.п. 20, 24, 26 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Диссертационная работа включает введение, общую характеристику работы, шесть глав с краткими выводами, заключение, библиографический список и приложения. Объем диссертации составляет 161 стр., включая 76 стр. текста, 45 рисунков на 41 стр., 17 таблиц на 15 стр., библиографический список из 212 наименований на 16 стр., список публикаций соискателя из 13 наименований на 2 стр. и 2 приложений на 5 стр. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, материал диссертационной работы изложен логично, без существенных погрешностей, затрудняющих чтение рукописи.

Аннотация полностью соответствует содержанию диссертации.

8. Замечания по диссертации и аннотации

При рассмотрении диссертации и аннотации не выявлено принципиальных недостатков, которые могли бы вызвать сомнение в достоверности научных выводов и положений, вынесенных на защиту. Тем не менее, имеется ряд замечаний, вопросов и предложений.

1. В гл. 3 при рассмотрении автором структуры покрытий на основе кремнийорганических соединений используются термины – «...сшитые области типа «клетка» и «...SiO₂ подобная структура...» (с. 56, 57, 61). Данные термины следовало бы пояснить.

2. Не совсем понятно, какая структура подразумевается под «...сшитым SiO₂ ...» (с. 63). Если речь идет об образовании кремнийсиликатной матрицы, то термин «сшитый SiO₂» не совсем корректен.

3. Утверждение автором об образовании кварцеподобной структуры (с. 64) в результате высокотемпературного отжига покрытия на основе полиэтилгидросилоксана (ГКЖ) не подтверждено результатами исследований. Следовало бы привести данные РСА.

4. Для констатации процесса десорбции адсорбированной влаги используется ИК анализ (с. 74). Целесообразно было бы привести данные по содержанию влаги в материале покрытия в %.

Замечания по оформлению

1. По тексту диссертационной работы встречаются опечатки (с. 40, 54, 64, 150, 151, 153 и др.).

2. Пункты 3.4 (с. 72) и 5.3 (с. 103) целесообразно было начать с новой страницы.

3. К таблице 12 (с. 76), в которой приведены свойства трехкомпонентного состава приведено название «Влияние соотношения компонентов...», а в самой таблице приведены соотношения двух компонентов, видимо, неорганической и органической составляющих.

В целом, несмотря на отмеченные замечания, представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему.

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

Диссертационная работа Лю Имина «Композиционные полимерсодержащие покрытия с регулируемыми поверхностными свойствами, осаждаемые из активной газовой фазы» является завершенным квалификационным исследованием, соответствует специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния и по новизне, практической и социальной значимости отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении научных знаний».

Считаю, что Лю Имин заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния за новые научно обоснованные результаты, включающие:

- установление закономерностей формирования композиционных гидрофобных / супергидрофобных покрытий из продуктов электронно-лучевого диспергирования кремнийорганических соединений, находящихся как в твердом, так и жидком состоянии, фторсодержащих полимеров и магния, определение их структуры и краевых углов смачивания;

- установление особенностей нанесения и структуры сформированных гидрофильных слоев на основе микрокристаллической целлюлозы, влияния термообработки на процесс образования в объеме тонкого слоя углеродных частиц, формирования сшитой структуры стойкой к действию термообработки и растворению в водной среде;

- установление особенностей структурных превращений, результатом которых является трансформация в SBF растворе многослойного покрытия на основе Mg, CaH₂, P₂O₅, этидроната и Zn в слой кристаллического гидроксиапатита;

- обоснование возможности направленного обеспечения заданных гидрофобных свойств покрытиям на основе ПТФЭ путем введения в полимер-

ную мишень соединений железа и алюминия, экзотермически взаимодействующих друг с другом.

что в совокупности позволило:

– разработать приемы направленного обеспечения материалам заданных гидрофобных (супергидрофобных) / гидрофильных свойств путем регулирования состава мишеней, инициирования экзотермических межкомпонентных взаимодействий в зоне воздействия потока электронов;

– разработать способ формирования кристаллических слоев гидроксипатита при активации межслоевых взаимодействий в многослойной системе в результате самопроизвольного поглощения покрытием молекул воды.

Полученные в диссертационной работе результаты в совокупности вносят заметный вклад в развитие физики конденсированного состояния.

Официальный оппонент

Заведующий кафедрой

«Водоснабжение, химия и экология»

Учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта»,

доктор технических наук, профессор



Е.Ф. Кудина

«06» декабря 2022 г

Подпись Е.Ф. Кудиной удостоверяю:

Заведующий специалист
по кадрам ОК

