

УТВЕРЖДАЮ

Ректор федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Волгоградский
государственный технический университет»
и.и.н. профессор



А.В. Навроцкий

12 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Старостина Антона Сергеевича «Физико-химические закономерности кристаллизации воды на границе раздела фаз на текстурированных гидрофобных поверхностях», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности

1.4.4. Физическая химия.

Химическая модификация поверхности, направленная на изменение ее физико-химических свойств, является актуальной задачей современной физической химии. Поверхности, обладающие многомодальной топографией, находят практическое применение во многих отраслях, включая биологию, микрофлюидику и теплопередающие устройства. В частности, текстурированные поверхности в результате прививки молекул гидрофобизатора обладают низкой энергией адгезионного взаимодействия с водой или водными растворами, что открывает перспективы использования таких покрытий в авиационной технике, судостроении, электроэнергетике, системах связи для предотвращения обледенения. В связи с вышеизложенным, диссертационная работа Старостина Антона Сергеевича, посвященная изучению физико-химических закономерностей кристаллизации воды на текстурированных гидрофобных поверхностях, несомненно, является **актуальным** исследованием для развития направления низкоэнергетических поверхностей в области физической химии.

Научная новизна работы состоит в: выявлении закономерностей кристаллизации воды на структурированных гидрофобных поверхностях; определении энергетических барьеров, разделяющих двухфазный и трехфазный режимы смачивания текстурированных поверхностей; установлении влияния химической природы гидрофобных модификаторов

на энергетический барьер смачивания и барьер нуклеации; определении ступенчатой кинетики роста микроразмерных капель воды на текстурированных гидрофобных поверхностях; установлении влияния теплофизических свойств поверхности на процессы кристаллизации капель воды, в том числе влияние неоднородного температурного поля.

Практическая значимость работы не вызывает сомнений. Получены микротекстурированные супергидрофобные поверхности, обладающие антиобледенительными свойствами. Предлагаемые автором подходы для расчета физических барьеров могут быть использованы в качестве научного материала при разработке технологий, обеспечивающих защиту поверхностей от обледенения. С результатами, полученными в диссертации, необходимо ознакомить научные институты и ВУЗы, осуществляющие деятельность по направлению физической химии: МГУ им. М.В. Ломоносова, ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина, ФИЦ Химической физики им. Н.Н. Семенова (все г. Москва), КНИТУ (г. Казань), СПбГУ, СПбГТИ(ТУ) (г. Санкт-Петербург), ННГУ им. Н.И. Лобачевского (г. Нижний Новгород).

Структура диссертации. Диссертационная работа Старостина А.С. состоит из введения, литературного обзора (глава 1), экспериментальной части (глава 2), обсуждения результатов (глава 3), заключения, списка сокращений, списка цитируемой литературы. Работа изложена на 130 страницах машинописного текста, содержит 65 рисунков, 5 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 144 наименования работ отечественных и зарубежных авторов.

Во введении обоснована актуальность проблемы и выбранного направления исследований, сформулированы цель, научная новизна, практическая и теоретическая значимость работы.

Первая глава посвящена анализу данных литературы о получении и исследовании текстурированных гидрофобных поверхностей. Особое внимание уделено процессам фазового перехода воды на поверхностях, имеющих различные физико-химические свойства. Рассмотрены основные подходы к оценке антиобледенительных свойств текстурированных гидрофобных поверхностей.

Во второй главе описаны экспериментальные и расчетные методы и методики, а также характеристики используемых реактивов. В работе использовался комплекс современных физико-химических методов исследования: рамановская спектроскопия, дифференциальная сканирующая калориметрия, термогравиметрический анализ, рентгенофлуоресцентный анализ, энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия. Данные методы традиционно используются при изучении физико-химических свойств поверхностей и позволяют получить достоверные и

надежные данные структурных характеристик и химического состава. Методики оценки смачивания широко представлены и включают определение краевого угла смачивания, гистерезиса краевого угла, угла скатывания. Кроме того, в работе проводится оценка стабильности трехфазного режима смачивания путем установления критического поверхностного натяжения для исследуемого раствора – вода/этанол. Математически рассчитывается энергетический барьер перехода из трехфазного режима смачивания в двухфазный. Приводятся методы оценки антиобледенительной способности изучаемых поверхностей при отрицательной температуре поверхности.

Основные результаты диссертационной работы представлены в третьей главе. Приводится физико-химическое описание поверхности, включая ее текстуру и химический состав. Рассматриваются гидрофобные свойства модифицированных поверхностей, и проводится оценка влияния поверхностных гидрофобных групп на стабильность супергидрофобного состояния. Представлены результаты нуклеации капель воды и кристаллов льда на текстурированных поверхностях. Анализируется влияние гидрофобных частиц на поведение капель при замерзании.

В Заключении представлены основные результаты исследования и выводы. На их основе сделано предположение о перспективах дальнейшего развития темы исследования и практического применения полученных результатов.

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием современного оборудования и методик оценки смачивания. Критический анализ полученных результатов привел к обоснованным положениям и выводам, которые выносятся на защиту.

Публикация результатов. Основное содержание диссертационной работы Старостина Антона Сергеевича изложено в 10 статьях в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, из них 7 статей в журналах Q1 и 3 статьи в журналах Q2, а также опубликовано 4 тезиса докладов в сборниках материалов всероссийских и международных конференций.

Содержание автореферата соискателя ученой степени соответствуют основному содержанию работы.

Вместе с тем при анализе диссертации и автореферата Старостина А.С. имеются следующие вопросы и замечания.

1. Схема реакции (рис. 2.11, с. 45; рис. 3.1.6, с. 60 диссертации), демонстрирующая взаимодействие перфтордецилтрихлорсилана и гидроксильных групп на поверхности подложки с образованием трех и двух связей, на практике не

реализуется. Известно, что молекулы трехфункциональных силанов связываются с поверхностью одной связью, а оставшиеся группы участвуют в образовании связей с соседними молекулами силана с формированием привитого слоя полисилоксана.

2. Для изучения химического состава поверхности, а именно топ слоя на глубину до нескольких нанометров, следовало бы использовать методы с большей чувствительностью, например, метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.
3. В диссертации не приводятся сведения о количестве молекул модификатора, закрепляемом на единицу поверхности подложки. Можно ли управлять плотностью прививки молекул модификатора на поверхности?
4. В описании методик травления алюминия (с. 44 диссертации) не приведены условия проведения процесса. Известно, что образуемая текстура на поверхности алюминия существенно меняется при варьировании концентрации, времени травления и других параметров. Кроме того, не приводятся характеристики исходного алюминия.
5. Как будет влиять наличие загрязнений на супергидрофобной поверхности (твердых частиц на подложке или в смачивающей воде) на процессы конденсации и кристаллизации?
6. Как влияют параметры шероховатости супергидрофобной поверхности на кристаллизацию капель воды?
7. В автореферате в подписях к рисункам 3.2.1 и 3.2.2 следовало бы указать, о каком модификаторе на поверхности идет речь.

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации в целом. Работа представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком теоретическом и экспериментальном уровне, содержит решение задачи выявления основных закономерностей кристаллизации воды на текстурированных гидрофобных поверхностях, что вносит существенный вклад в развитие физической химии, а предложенные подходы для расчета физических барьеров могут быть использованы при разработке технологий, обеспечивающих защиту поверхностей от обледенения.

Заключение

Таким образом, диссертационная работа Старостина А.С. «Физико-химические закономерности кристаллизации воды на границе раздела фаз на текстурированных гидрофобных поверхностях» по своей актуальности, научной новизне, практической и теоретической значимости полученных результатов соответствует требованиям п.9

Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Старостин Антон Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Диссертационная работа Старостина Антона Сергеевича на тему «Физико-химические закономерности кристаллизации воды на границе раздела фаз на текстурированных гидрофобных поверхностях», содержание отзыва ведущей организации на автореферат и диссертацию были обсуждены и приняты единогласно на заседании кафедры «Аналитическая, физическая химия и физико-химия полимеров» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» 7 декабря 2023 г. (протокол №10). Присутствовало 15 человек, в том числе 4 доктора и 8 кандидатов наук.

Академик РАН,
доктор химических наук
(02.00.06 - Высокомолекулярные соединения),
заведующий кафедрой «Аналитическая, физическая химия
и физико-химия полимеров»
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Волгоградский государственный технический
университет» (ВолГТУ)

Иван Александрович Новаков

Адрес места работы:
400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28,
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолГТУ),
кафедра «Аналитическая, физическая химия и физико-химия полимеров»
Тел.: +7 (8442) 24-80-00; e-mail: president@vstu.ru



Вход. № 05-7842
« 11 » 12 2023 г.
подпись