

Вх. N11/22
от 06.05.22

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Аль-Музайкера Мохаммеда Али Яхья Али «Исследование влияния локальных источников и стоков тепла на перенос микрочастиц и формирование паттернов в тонких слоях жидкости», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Актуальность темы выполненной работы

Диссертация Аль-Музайкера Мохаммеда Али Яхья Али посвящена экспериментальному исследованию самосборки микрочастиц и теплопереноса в тонких слоях жидкости. Процессы самосборки являются предметом многочисленных исследований, начиная с работы Deegan R. D. (“Эффект кофейных колец при высыхании капель коллоидных растворов”), опубликованной более 20 лет назад. Технологии нанесения токопроводящих покрытий и пористых пленок, производства искусственных фотонных кристаллов (альтернатива природным фотонным кристаллам – опалам), капельного охлаждения энергонасыщенного оборудования базируются на процессах самосборки органических или неорганических частиц при испарении коллоидных растворов на твердых поверхностях. Интенсивное развитие микро и наноразмерных технологий (например, «лаборатория на чипе») и устройств микрофлюидики, переводит во фронт научную проблему управления процессами сборки частиц в области теплофизики и теоретической теплотехники.

Актуальность темы также обусловлена разработкой новых, недорогих и технически простых методов получения структур заданных геометрических форм и размеров, широко востребованных в области биомедицины, оптотехники, инновационного материаловедения и микроэлектроники.

Цель и задачи исследования

Соискателем разработан новый подход к управлению переносом микрочастиц с целью создания требуемых упорядоченных структур микро-сантиметровых масштабов.

Научная новизна и практическая значимость диссертационной работы

В настоящее время широко известны подходы к формированию требуемой структуры при испарении коллоидных растворов, например, изменение текстуры поверхности или приложение внешних сил, в том числе сил Марангони в условиях градиентов концентраций, температур. Однако, все известные подходы не лишены существенных недостатков, таких как

сложность процессов, высокая стоимость. Последнее накладывает ограничение на их широкое применение, а также на вариативность получаемых паттернов. Диссертационное исследование **Аль-Музайкера Мохаммеда Али Яхья Али** восполняет отсутствие подходов, позволяющих эффективно управлять динамическим процессом самосборки микрочастиц, создавать требуемые структуры. В работе впервые предлагается применение термокапиллярного эффекта Марангони, управляемого как источниками, так и стоками тепла для создания заданной структуры частиц на поверхностях при испарении коллоидных растворов.

Практическая значимость полученных соискателем результатов не вызывает сомнений. Область применения результатов по формированию требуемых паттернов охватывает многие сферы, начиная с технологических операций (очистка поверхностей полупроводниковых и оптических материалов, печать электронных схем, нанесение покрытий с необходимыми функциональными свойствами) и заканчивая биологическими и медицинскими процедурами (инкапсуляция веществ и адресная доставка лекарств, проведение анализов, создание биосенсоров).

Наиболее существенные результаты, полученные соискателем

К наиболее существенным результатам, полученным **Аль-Музайкером Мохаммедом Али Яхья Али**, следует отнести разработку экспериментальной установки и методики изготовления ячеек для изучения влияния тепловых источников и стоков на перенос микрочастиц в тонких слоях жидкости и структуру результирующих паттернов. Также соискателем предложен подход, позволяющий создавать различные конфигурации паттерна (кругового, кольцевого и области, очищенной от частиц) за счет изменения знака градиента температуры в требуемой последовательности. Разработана математическая модель пространственно-временной эволюции толщины жидкого слоя, концентрации частиц, температуры жидкости и поверхности, а также скорости потока вблизи поверхности. Полученные численные результаты удовлетворительно согласуются с результатами экспериментов.

Содержание диссертационной работы

По структуре диссертация состоит из введения, четырёх глав основного текста, заключения и списка литературы. Общий объём диссертации составляет 120 страниц. Список литературы включает в себя 139 наименований.

Во введении обосновывается актуальность рассматриваемой тематики, формулируется цель работы. Приводятся краткая характеристика диссертации, основные положения, выносимые на защиту, практическая

значимость работы, обосновывается достоверность изложенных в диссертационном исследовании результатов и приведен личный вклад автора.

В первой главе представлен обзор литературы по рассматриваемой тематике. Анализируется современное состояние исследований в РФ и за рубежом по созданию упорядоченных паттернов частиц в жидкостеносителе. Приводится классификация известных методов управления переносом частиц и формированием паттернов. Показано, что к настоящему времени не разработан технически простой и малозатратный подход к созданию требуемого паттерна при испарении коллоидного раствора на твердых поверхностях.

Во второй главе приводится описание экспериментальной установки и применявшихся методов исследования. Большое внимание во второй главе уделяется описанию изготовления экспериментальной ячейки, в которой реализуется процесс управления морфологией частиц. Также приводится информация об использованных материалах и их основных свойствах. Использовались моодисперсные сферические частицы полистирола и полидисперсных несферических частиц полиэтилена, в качестве жидкостеносителей использовались изопропанол и полиметилсилоксан. Соискатель представил подробное описание методики оценки площади паттерна, измерения скоростей частиц и погрешностей определяемых величин.

В третьей главе проведены основные результаты управления переносом микрочастиц в тонком слое жидкости при локальном нагреве и охлаждении. Сначала приводится механизм манипулирования частицами за счет управления потоками Марангони в слое жидкости с помощью контроля мощности источников и стоков тепла. Представлено описание сил, действующих на частицы. Показано, что в режиме нагрева (отрицательный градиент температуры) происходит эволюция паттерна во времени для частиц PS в изопропанолe: перенос частиц в область нагрева, формирование паттерна со звездчатой формой, конечный паттерн в виде холмика. При этом, конечная площадь паттерна увеличивается с увеличением числа частиц и уменьшается с увеличением толщины слоя жидкости. Установлено влияние толщины слоя на время формирования паттерна: для частиц PE толщина не оказывает влияние, для частиц PS время увеличивается с толщиной слоя. В режиме охлаждения установлено, что частицы перемещаются от теплостока к теплой периферии, в результате чего охлаждаемая область очищается от частиц. Представлена разработанная математическая модель и результаты численного моделирования. Модель позволяет определить пространственно-временную эволюцию толщины жидкого слоя, концентрации частиц,

температуры жидкости и подложки, а также скорости потока вблизи подложки. Показано удовлетворительное согласование численных и экспериментальных результатов.

В четвёртой главе представлены результаты по разработке подхода к созданию кольцевых паттернов при динамическом управлении частицами полистирола в режиме «охлаждение-нагрев». Дано описание механизма формирования паттерна за счет управления скоростью и направлением термокапиллярного течения, регулируя знак и величину градиента температуры. По результатам проведенных экспериментов установлены зависимости скорости формирования паттернов, их размеров и расположения частиц от мощности источника/стока тепла и продолжительности нагрева/охлаждения.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, показаны перспективы дальнейших исследований в данном направлении.

Замечания к диссертационной работе

При прочтении диссертации у рецензента сложились следующие вопросы и замечания разной степени значимости:

1. Не хватает однозначности в формулировке пунктов таких разделов, как цель и задачи, научная новизна, защищаемые положения. В частности, это касается пункта о разработке новой методики создания кольцевых паттернов микрочастиц. В некоторых разделах это названо методом, в некоторых – методикой.

2. Почему выбраны разные диапазоны толщин жидкости-носителя для охлаждения и нагрева?

3. Применима ли разработанная методика к условиям формирования паттернов на вертикальных поверхностях? Возможно ли управлять морфологией паттернов в вертикальном направлении?

4. Исследовано ли влияние смачивания твердой поверхности на эффект самосборки? Известно, что при исследовании самосборки при испарении жидкости (evaporation-induced assembly) этот фактор является решающим. И какое влияние оказывает этот фактор в случае слоя жидкости-носителя, а не капли коллоидного раствора?

5. Насколько существенно влияние формы ячейки на формы результирующих паттернов? Насколько применимы полученные результаты к другим формам ячеек?

6. Какова универсальность предложенного подхода? Насколько разные можно получать паттерны с точки зрения геометрической формы?

7. Как определялось (регистрировалось) равновесное состояние (при проведении экспериментов с полиметилсилоксаном ПМС-10 (стр. 34

диссертации)? Что являлось условием так называемого равновесия системы «жидкость-носитель – частицы»? В диссертации отсутствует пояснение.

8. Отсутствует доверительный интервал на экспериментально полученных зависимостях. Это особенно критично, когда на графике две или больше кривых, при этом, например, на рис. 3.4 (а) две кривые расположены близко к друг другу.

9. Как экспериментально определялся коэффициент конвективного теплообмена? В диссертации отсутствует пояснение.

Тем не менее, перечисленные замечания совершенно не снижают положительное впечатление от диссертационной работы **Аль-Музайкера Мохаммеда Али Яхья Али** и полученных автором результатов.

Материалы диссертации апробированы на многочисленных профильных конференциях и симпозиумах, а основные результаты опубликованы в 14 научных работах, в том числе в ведущих рецензируемых зарубежных изданиях (4 статьи) и отечественных журналах из списка ВАК (2 статьи).

Автореферат хорошо структурирован и полностью соответствует содержанию диссертации. Однако по автореферату у рецензента тоже сформировалось замечание: следует использовать общепринятые сокращения, например, сканирующий электронный микроскоп (СЭМ).

Соответствие паспорту специальности

Тематика и содержание диссертации **Аль-Музайкера Мохаммеда Али Яхья Али** отвечают паспорту специальности 1.3.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» по формуле специальности и области исследования: п. 1. Фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макросвойств веществ в твёрдом, жидком и газообразном состоянии для более глубокого понимания явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах.

Общая оценка диссертационной работы


Диссертация **Аль-Музайкера Мохаммеда Али Яхья Али** «Исследование влияния локальных источников и стоков тепла на перенос микрочастиц и формирование паттернов в тонких слоях жидкости» является завершённой научно-квалификационной работой. Несмотря на замечания рецензента, можно утверждать, что все **цели**, поставленные автором достигнуты. Полученные результаты являются оригинальными и обладают необходимой новизной. Обоснованность и достоверность полученных результатов обусловлена применением надежных и хорошо

zareкомендовавших себя экспериментальных методов, корректностью постановки экспериментов, использованием современного высокоточного оборудования и тщательным анализом систематических и случайных погрешностей. Полученные автором диссертации результаты характеризуются внутренней непротиворечивостью и согласуются с экспериментальными и теоретическими данными других авторов. Работа соответствует критериям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., № 842.

Считаю, что **Аль-Музайкер Мохаммед Али Яхья Али**, автор диссертации «Исследование влияния локальных источников и стоков тепла на перенос микрочастиц и формирование паттернов в тонких слоях жидкости», заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Официальный оппонент:

Доцент научно-образовательного центра И.
Н. Бутакова Инженерной школы энергетики
ТПУ, кандидат физико-математических наук
по специальности 01.02.05 – Механика
жидкости, газа и плазмы

 Орлова Е. Г.

«05» мая 2022 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет»

Адрес: 634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30.

Тел.: +7 (3822) 701777 Вн.т. 3486

e-mail: lafleur@tpu.ru

Подпись Е.Г. Орловой удостоверяю
Ученый секретарь, НИ ТПУ



к.т.н., Кулинич Екатерина Александровна