

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.034.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИАП РАН), Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от «25» декабря 2017 г. № 12
о присуждении Посмитной Яне Станиславовне, гражданке Российской
Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка микрофлюидных устройств из полимерных материалов для амплификации и разделения нуклеиновых кислот» по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики принята к защите 19.10.2017 г., протокол № 8 диссертационным советом Д002.034.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института аналитического приборостроения Российской академии наук (ИАП РАН), 190103, г. Санкт-Петербург, Рижский пр., д. 26, приказ 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Посмитная Яна Станиславовна, Гражданство РФ, 1990 года рождения, в 2013 году окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» по направлению подготовки «Приборостроение».

Диссертация выполнена на кафедре нанофотоники и метаматериалов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

Научный руководитель – доктор технических наук Евстрапов Анатолий Александрович, заведующий лабораторией «Информационно-измерительных био- и хемосенсорных микросистем» Института аналитического приборостроения РАН.

Официальные оппоненты:

1.Абиев Руфат Шовкетович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета).

2. Чернышев Андрей Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Вакуумные и компрессорные машины» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра Молекулярной биофизики и физики полимеров (МБФП) в своем положительном заключении, подписанном Цветковым Николаем Викторовичем, доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой МБФП, профессором; Касьяненко Ниной Анатольевной, доктором физико-математических наук, профессором кафедры МБФП, утвержденном Аплоновым Сергеем Витальевичем, доктором геолого-минералогических наук, профессором, проректором по научной работе СПбГУ, указала на следующие замечания:

1. «Несмотря на то, что в целом диссертация прекрасно оформлена и написана грамотно, в ней присутствуют не вполне удачные фразы. В частности, название первой главы диссертации «Литературный обзор» представляется не вполне корректным».
2. «При исследовании жесткости материалов методом АСМ и при получении изображений не указано, были ли использованы разные образцы, приготовленные по одной методике, или исследования проводили путем выборочного сканирования поверхности одного образца».
3. «К сожалению, в диссертации при оценке смачивания поверхности по измерению угла смачивания (глава 2, таблица 2.9) не приведены изображения, на основании которых эта оценка проводится. Каким образом помещалась капля на поверхность образца? Чем определяется погрешность определения угла смачивания (1-2%)? Сколько капель и на скольких образцах при этом проанализировано?»
4. «Из текста диссертации не ясно, осуществлялось ли термостатирование образцов при испытаниях, проведенных с использованием электрофореза на микрочипе?»

Соискатель имеет опубликованных работ по теме диссертации – 16 (шестнадцать), опубликованных в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ – 6 (шесть). К наиболее значительным работам, отражающим основное содержание диссертации относятся:

1. *Посмитная Я.С., Букатин А.С., Макаров Д.А., Юдин К.В., Евстратов А.А.* Альтернативные подходы при создании мастер-форм для изготовления микрофлюидных чипов методом "мягкой" литографии // Научное приборостроение. – 2017. – Т.27. – N.2. – С.13–20. (ВАК)

2. *Игнатчик М.М., Посмитная Я.С., Евстратов А.А.* Исследование изменения свойств смачивания поверхности полидиметилсилоксана и канала микрофлюидного чипа после воздействия высокочастотной плазмы в среде кислорода // Научное приборостроение. – 2016. – Т.26. – N.1. – С.41–46. (ВАК)
3. *Кухтевич И.В., Посмитная Я.С., Белоусов К.И., Букатин А.С., Евстратов А.А.* Принципы, технологии и устройства "капельной" микрофлюидики. Ч.1 (обзор) // Научное приборостроение. – 2015. – Т.25. – N.3. – С.65–85. (ВАК)
Кухтевич И.В., Посмитная Я.С., Белоусов К.И., Букатин А.С., Евстратов А.А. Принципы, технологии и устройства "капельной" микрофлюидики. Ч.2 (обзор) // Научное приборостроение. – 2015. – Т.25. – N.3. – С.94–109. (ВАК)
4. *Буляница А.Л., Посмитная Я.С., Рудницкая Г.Е., Лукашенко Т.А., Цымбалов А.И., Евстратов А.А.* Стекланно-полимерные микрофлюидные чипы для электрофоретического разделения биомолекул // Научное приборостроение. – 2014. – Т.24. – N.4. – С.67–76. (ВАК)
5. *Рудницкая Г.Е., Лукашенко Т.А., Посмитная Я.С., Тулик А.Н., Евстратов А.А.* Физико-химические методы модификации поверхности полиметилметакрилата для микрофлюидных чипов // Научное приборостроение. – 2014. – Т.24. – N.3. – С.22–31. (ВАК)
6. *Посмитная Я.С., Евстратов А.А.* Спектрофотометрический контроль соединения оптически прозрачных материалов и тонких слоев // Научное приборостроение. – 2014. – Т.24. – N.1. – С.152–156. (ВАК)

Соискателем поставлены цель и задачи, проведен обзор литературы; предложены и обоснованы новые подходы к созданию прототипов микрофлюидных чипов, позволяющие усовершенствовать метод «мягкой» литографии, расширяющие возможности метода; выбрана и обоснована перспективность применения отечественных эпоксидных компаундов (на примере ПЭО-221К, ПЭО-510КЭ-20/0, СПбГТИ (ТУ), Россия) и эластичных материалов (на примере Lasil T-4, Dow Corning, Германия) в методах оперативного изготовления микрофлюидных устройств в условиях исследовательской лаборатории; разработаны и созданы микрофлюидные чипы, предназначенные для амплификации нуклеиновых кислот, из ПДМС (Sylgard[®] 184, США) с интегрированной полиолефиновой пленкой (Sarstedt AG & Co., Германия); выбраны условия стабильной генерации капель и показана возможность регистрации на микрофлюидном устройстве результатов геликаза-зависимой изотермической амплификации участка гена GAPDH (226 п.о.) в режиме детектирования флуоресценции от отдельных макроэмульсий в проточном режиме.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. От Абиева Руфата Шовкетовича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой Оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры СПбГИ (ТУ). Замечания:

а. «В диссертационной работе проведен большой объем экспериментальных исследований. Было бы целесообразно в ряде случаев сделать некоторые теоретические оценки полученных результатов, провести численные исследования процессов и явлений».

б. «Можно ли по результатам исследования сделать какие-либо обобщения, перенося полученные закономерности на схожие по составу материалы? Поддается ли прогнозированию работа МФЧ, имеющих структуру, аналогичную исследованным МФЧ, и в каком диапазоне изменения параметров?»

в. «П. 2.2.2 диссертации (с. 71 и далее): при поиске оптимальных химических растворов и других средств для модификации поверхности ПДМС использование знаний о химических свойствах ПДМС позволило бы сузить область поиска методов модификации».

г. «На рис. 3.15–3.17 линии, проведенные под углом 45° к осям координат, облегчили бы восприятие информации о корреляции размеров микроструктур».

д. «С. 49, рис. 1.8. Угол тета (θ) на левой части рисунка указан некорректно».

е. «С. 55. Модель DMT разработана русскими (советскими) учеными Дерягиным, Мюллером и Топоровым, и их фамилии можно было представить по-русски».

ж. «С. 61-62. Графики «усилие–относительная деформация» на рис. 2.4–2.6 построены не из нулевых значений, хотя сдвиг нуля имеет место. Тест на сжатие для определения модуля упругости на основании макроскопических измерений проводился с образцами длиной 4 мм и диаметром 5 мм. В диссертации не приведены данные о точности измерений усилия (массы) и размеров, не оценена погрешность метода. Уместно также было бы оценить роль трения между площадкой наконечника и образцом в создании поперечных усилий».

2. От Чернышева Андрея Владимировича, доктора технических наук, профессора кафедры «Вакуумные и компрессорные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Замечания:

а. «В рассматриваемой работе просматривается некоторое несоответствие в названии, поставленной цели работы и полученной научной новизне:

Название: «Разработка микрофлюидных устройств из полимерных материалов для амплификации и разделения нуклеиновых кислот».

Цель работы: Разработка и апробация способов оперативного изготовления

микрофлюидных устройств из полимерных материалов для методов молекулярной диагностики (амплификации и разделения нуклеиновых кислот).

Научная новизна:

- впервые произведен комплекс исследований оптических и физико-механических свойств материалов...;

- ... впервые разработаны рекомендации по применению полимерных материалов в устройствах для обнаружения нуклеиновых кислот с флуоресцентным детектированием;

- предложены и обоснованы новые подходы при создании прототипов микрофлюидных чипов...;

- ... впервые показана возможность детектирования флуоресценции от отдельных макроэмульсий в транспортном потоке на микрофлюидном чипе, что обеспечивает высокопроизводительный анализ нуклеиновых кислот».

б. «В раздел: Положения, выносимые на защиту, следовало бы добавить пункт:

«Новые микрофлюидные устройства из полимерных материалов для амплификации и разделения нуклеиновых кислот, созданные на основе разработанного метода оперативного изготовления».

в. «В работе встречается некоторая терминологическая неточность:

- при описании процесса изготовления автор часто использует термины: «подход» при создании прототипов..., «способы» оперативного изготовления микрофлюидных устройств, а по сути в работе предлагается новая технология изготовления микрофлюидных устройств;

- автор часто использует термин: «оценка»: «оценка величин светопропускания», «оценка модуля упругости», «оценка смачивания поверхности» и т.д. правильно было бы использовать термин – «измерение» или «исследование»;

- неудачно применен термин «необратимая» герметизация (стр. 123, абзац 2), в технике это называется: герметизация неразъемного соединения».

г. «Автор указывает, что полученные при исследовании данные обрабатывались методами статистической обработки результатов (стр. 8). Но в самой работе ни используемые методы, ни процесс статистической обработки результатов не изложены».

д. «Контроль герметичности микрофлюидного чипа производился оптическим методом исследования стыка на разделе полимер-полимер, то есть косвенным методом. Почему не применялся ни один из известных и широко используемых прямых методов контроля герметичности?»

е. «В Заключении приведены основные результаты выполненной диссертационной работы, но выполнение некоторых поставленных задач исследований не нашло отражения».

3. От Антроповой Татьяны Викторовны, доктора технических наук, доцента, заведующей лабораторией физической химии стекла ИХС РАН. Замечания:

а. «Отсутствие патентов с соавторством соискателя, хотя в диссертационной работе предложен новый способ изготовления мастер-форм и микрофлюидных чипов из эпоксидных компаундов отечественного производства».

б. «В автореферате не поясняется, с чем связано различие оценок модуля упругости эластичных материалов, полученных с помощью разных методов».

в. «В автореферате отсутствует обсуждение возможных причин наблюдаемого влияния воздействия кислородной плазмы либо термообработки на гидрофобные/гидрофильные свойства поверхности каналов микрофлюидных чипов».

4. От Алексева Якова Игоревича, кандидата биологических наук, научного директора ООО «Синтол». Замечания:

а. «На странице 18 автореферата при описании экспериментов по постановке полимеразной цепной реакции (ПЦР) необходимо, кроме указания флуоресцентного красителя Су5, входящего в состав гибрида зонда, указывать и соответствующий ему гаситель флуоресценции. Также необходимо отметить, что для постановки ПЦР использовали очень высокую концентрацию ДНК-мишени, гена GAPDH 10^5 копий/мкл, что, несомненно, позволяет добиться высокого итогового сигнала флуоресценции и продемонстрировать эффективность герметизации реакционной камеры, однако в рутинной практике исследователи имеют дело с более низкими исходными концентрациями ДНК-мишеней вплоть до 1 копии в микролитре. Результаты такого эксперимента украсили бы работу».

б. «К сожалению, рисунок 10 б) на котором изображена разница в интенсивности сигналов флуоресценции является недостаточно четким и полученную разницу трудно оценить визуально, а численных значений в тексте не приведено».

в. «На странице 19 в первом абзаце сказано, что «изучали различные варианты обработки МФЧ, оказывающие влияние на электроосмотический поток. Наиболее эффективным способом обработки МФЧ, позволяющим достигнуть минимального значения электроосмотической подвижности, являлась обработка 3% водным раствором Kolliphor P 188». К сожалению, не перечислены конкретные изученные варианты обработки, а также не понятно какие именно временные, температурные и пр. условия обработки 3% водным раствором Kolliphor P 188 применялись?»

Также не приведена и не обсуждена химическая природа этого вещества или смеси веществ, обеспечивающего наилучшие полученные результаты».

5. От Долгушина Сергея Анатольевича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника кафедры биомедицинских систем МИЭТ. Замечания:

а. «Перечень основных результатов работы излишне детализирован, в частности результаты 5 и 6 могут быть объединены».

б. «Не указаны погрешности измерений на рис. 2».

в. «Не приведен масштаб на изображениях в таблице 2».

6. От Гареева Камиля Газинуровича, кандидата технических наук, ассистента кафедры микро- и наноэлектроники, научного сотрудника ИЦ «ЦМИД» СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина). Замечание:

«Вместе с тем, практическая значимость работы представляется раскрытой не в полной мере, т.к. не указаны сведения о патентной защите разработанных в рамках диссертации технических решений или о полученных актах об использовании (внедрении) практических результатов в промышленном производстве».

7. От Пичугина Юрия Александровича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры высшей математики и механики СПб ГУАП. Замечание: «Выводы и заключения, полученные в результате проведенных исследований, выглядят несколько весомее, когда последние подтверждены соответствующими статистическими тестами. Так, например, в комментарии к результатам, представленным на Рис. 7, отмечается, что «в идеальном случае размеры структур реплики должны быть идентичны размерам соответствующих структур шаблона (мастер-формы), т.е. должна наблюдаться линейная зависимость размеров». Это утверждение можно было бы рассматривать как исходную статистическую гипотезу, проверка которой по данным результатов экспериментов, в случае, когда гипотеза не отвергнута (такова логика данной ситуации), придало бы результатам эксперимента больший научный вес. Последнее замечание относится и к результатам, проиллюстрированным на Рис. 8».

8. От Николаева Бориса Петровича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника, начальника лаборатории медицинских нанотехнологий ФГУП «Гос. НИИ ОЧБ» ФМБА России. Замечание:

«Некоторая неудовлетворенность возникает только в части краткого освещения материала при описании итогового эксперимента по амплификации ДНК. Целесообразно провести сравнение с контрольным экспериментом в стандартном исполнении без микрочипа. По автореферату трудно составить представление о патентоспособности обсуждаемых технических решений, список цитированной

литературы не содержит сведений о проведении подробного патентного анализа обсуждаемых в диссертационной работе вопросов. В состав диссертации входят 3 приложения, о содержании которых автореферат не дает никакой информации».

9. От Владимирова Фёдора Львовича, кандидата физико-математических наук, начальника отдела АО «Научные приборы». Замечание:

«В разделе 3.3.2, на странице 13, целесообразно было бы отметить преимущества метода лазерной гравировки при создании мастер-форм для микрофлюидных чипов, которые заключаются в повышении скорости и снижении стоимости их изготовления».

10. От Ястребова Сергея Гурьевича, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. Замечание:

«При прочтении текста автореферата возникает вопрос по Рис. 2. Не понятно, почему для анализа выбрана полоса 1650 нм. Какова ее природа?»

11. От Горного Сергея Георгиевича, кандидата технических наук, директора ООО «Лазерный центр». Без замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается опытом их работы в областях, связанных с направлениями диссертационного исследования, а именно: микрофлюидика, конструирование, расчет и проектирование приборов и их элементов для биологических и медицинских исследований (в том числе для выделения ДНК, а также для методов ПЦР), моделирование, расчет и изготовление микроустройств (в частности, для химического синтеза), анализ физико-химических характеристик полимерных материалов, исследования нуклеиновых кислот и ряда других. Оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют научные публикации в высокорейтинговых журналах, что подтверждает значимость их научных достижений в соответствующих областях науки.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

показано, что использование силиконовых эластичных материалов, из которых изготавливаются мастер-формы, позволяет сформировать твердые оптически прозрачные реплики микроструктур в эпоксидных материалах (например, ПЭО-221К), что обеспечивает создание конструкций чипов для экспериментальных исследований в области микрофлюидики, а также прототипов устройств для биологических и медицинских исследований, расширяя возможности метода «мягкой» литографии;

предложено использовать мастер-формы из эпоксидных компаундов, обладающих высокой прочностью и изготовленных по эластомерным репликам, полученным по мастер-форме из кремния и фоторезиста, что позволяет увеличить число реплицируемых изделий (реplik микроструктур) более, чем в 4 раза по сравнению с кремниевыми материалами при сохранении высокой точности отпечатков микроструктур;

выявлено, что методы лазерной микрообработки металлов (например, алюминиевого сплава АМг-6, латуни ЛС59-1, стали марки 40Х13) с последующей электролитно-плазменной полировкой позволяют оперативно изготовить мастер-формы для получения реплик микрофлюидных чипов с размерами микроструктур более 50 мкм за время не более 1 часа, что значительно (в 6-8 раз) быстрее, чем при традиционном методе фотолитографии;

обнаружено отсутствие существенного изменения фоновой флуоресценции и светопропускания при применении силиконовых прозрачных материалов (например, Lasil T-4) и эпоксидных компаундов (например, ПЭО-221К), что при интеграции в ПДМС Sylgard® 184 тонких пленок (из полиолефинового полимера или циклоолефинового сополимера) позволяет уменьшить испарение пробы в конструкции микрофлюидного чипа для амплификации нуклеиновых кислот и обеспечивает возможность регистрации целевой ДНК;

доказано, что эластомерные материалы (например, ПДМС Sylgard® 184) после обработки высокочастотной плазмой в среде кислорода или аргона приобретают гидрофильные свойства, которые изменяются со временем, что приводит к нестабильности характеристик микрофлюидных чипов при их дальнейшем использовании. Выдерживание чипов при температуре 200 °С в течение 1 часа или при 80 °С в течение 4 часов приводит к восстановлению гидрофобных свойств в каналах и реакционных камерах.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что применительно к проблематике диссертации эффективно, с получением обладающих новизной результатов:

использован комплекс методов исследования (конфокальной лазерной сканирующей микроскопии, ближнепольной оптической микроскопии, профилометрии, оптической микроскопии, оптической спектрофотометрии и флуориметрии, метода лежащей капли) оптических и физико-механических свойств материалов (светопропускание, флуоресценция, смачивание поверхности, модуль упругости), что позволило выбрать и обосновать перспективность применения эпоксидных компаундов (ПЭО-221К, ПЭО-510КЭ-20/0, СПбГТИ (ТУ),

Россия) и эластичных материалов (Lasil T-4, Dow Corning, Германия) в методах оперативного изготовления микрофлюидных устройств;

впервые, применительно к микрофлюидным чипам, проведена численная оценка оптических (светопропускание и флуоресценция) свойств выбранных материалов, а также конструкций с интегрированными полимерными пленками, что позволило выработать рекомендации по применению данных полимеров в устройствах для обнаружения нуклеиновых кислот с использованием флуоресцентных методов детектирования;

предложены и обоснованы новые подходы к созданию прототипов микрофлюидных чипов, представляющие собой модификацию метода «мягкой» литографии (использование мастер-форм из эластичных и эпоксидных материалов при дополнительной репликации или металлических мастер-форм, изготовленных методом лазерной микрообработки с электролитно-плазменной полировкой);

на примере регистрации результатов изотермической амплификации участка гена GAPDH впервые показана возможность детектирования флуоресценции от отдельных макроэмульсий в транспортном потоке на микрофлюидном чипе, что обеспечивает высокопроизводительный анализ нуклеиновых кислот.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

предложены, обоснованы и апробированы новые подходы к созданию прототипов микрофлюидных чипов, позволяющие усовершенствовать метод «мягкой» литографии (использование мастер-форм, полученных при дополнительной репликации или методом лазерной микрообработки), расширяющие возможности метода (изготовление микрофлюидных чипов из твердых материалов, позволяющих проводить исследования при высоких давлениях) и обеспечивающие снижение затрат при сокращении времени изготовления микрочипов;

обоснована перспективность применения отечественных эпоксидных компаундов (на примере ПЭО-221К, ПЭО-510КЭ-20/0, СПбГТИ (ТУ), Россия) и эластичных материалов (на примере Lasil T-4, Dow Corning, Германия) в методах оперативного изготовления микрофлюидных устройств в условиях исследовательской лаборатории;

получены оценки величин сигнала флуоресценции на длинах волн возбуждения красителей, применяемых в методах молекулярной диагностики, для выбранных материалов и конструкций с интегрированными полимерными пленками;

разработаны и созданы микрофлюидные чипы для:

а) изотермической амплификации нуклеиновых кислот в макроэмульсиях (материал: полидиметилсилоксан Sylgard® 184, Dow Corning, США) и в

реакционных микрокамерах (гибридные чипы: полидиметилсилоксан и стекло, эластомер Lasil T-4 и стекло, эпоксидный компаунд ПЭО-221К и стекло);

б) постановки полимеразной цепной реакции (полидиметилсилоксан Sylgard® 184 с интегрированной полиолефиновой пленкой (Sarstedt AG & Co., Германия);

в) для электрофоретического разделения смеси олигонуклеотидов (гибридные чипы: полидиметилсилоксан и стекло);

предложены технические решения, обеспечивающие многократное уменьшение испарения реакционной смеси из рабочих камер микрочипа для реализации режима термоциклирования при проведении ПЦР;

доказана работоспособность микрофлюидного чипа с интегрированной полиолефиновой пленкой при обнаружении синтезированного фрагмента кДНК гена домашнего хозяйства GAPDH методом ПЦР по технологии TaqMan;

выбраны условия стабильной генерации капель и показана возможность регистрации на микрофлюидном устройстве результатов геликаза-зависимой изотермической амплификации участка гена GAPDH в режиме детектирования флуоресценции от отдельных макроэмульсий в проточном режиме.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что: результаты экспериментальных работ получены с применением целого ряда современных методов, в том числе: флуоресцентной спектроскопии; микроскопических и макроскопических тестов при измерении модуля упругости; методов сканирующей ближнепольной, атомно-силовой и конфокальной лазерной микроскопии; оптической микроскопии; методов репликации микроструктур с применением шаблонов; методов капиллярного электрофореза и амплификации нуклеиновых кислот. Показана воспроизводимость полученных результатов исследования, что подтверждается большим количеством проведенных экспериментов, их многократным повторением и тщательной обработкой результатов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке цели и задач исследования, анализе литературных источников по теме диссертации, организации и проведении экспериментальных исследований (спектрофотометрические и флуориметрические измерения; способы обработки материалов; измерение модуля упругости; определение смачивания поверхностей; исследование рельефа поверхностей методами сканирующей ближнепольной микроскопии и конфокальной лазерной микроскопии; изготовление и измерение микроструктур мастер-форм и реплик; изготовление и испытание МФЧ на тестовых системах), обработке и анализе экспериментальных данных, представлении результатов работы на конференциях. Основные экспериментальные результаты, представленные в диссертации, получены автором

лично. Подготовка основных публикаций по выполненной работе проводилась при участии автора совместно с научным руководителем.

На заседании 25.12.2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Посмитной Я.С. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 17 докторов наук, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 17, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель
диссертационного совета,
д.т.н., проф.

В.Е. Курочкин

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.ф.-м.н.

А.Л. Буляница

