

Отзыв официального оппонента
Файзрахманова Ильдара Абдулкабировича
д.ф.-м.н., главного научного сотрудника Казанского физико-
технического института им. Е.К. Завойского – обособленного
структурного подразделения федерального государственного
бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр
«Казанский научный центр Российской академии наук»
на диссертационную работу Гребенщиковой Марины Михайловны
на тему: «Научно-технологические основы создания биомедицинских
материалов с многослойными наноструктурированными биоактивными
и биостойкими покрытиями с применением плазменных технологий»
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.6.17. Материаловедение

1. Актуальность исследования

Биомедицинские материалы, применяемые в изготовлении изделий медицинского назначения, а именно, для ортопедии и травматологии, определяют качество оказания медицинской помощи, влияя на эффективность и скорость процесса заживления, вероятность осложнений и сроки реабилитации пациентов с травмами, а значит, и на затраты в области медицинского страхования. При этом, биомедицинские материалы должны отвечать всем требованиям, предъявляемым современным изделиям медицинского назначения, и одновременно, показать перспективные характеристики, сочетая в себе улучшенные свойства традиционных материалов с новыми. Эти перспективные характеристики возможно достичь за счет применения плазменных технологий обработки материалов с наноструктурой.

Таким образом, актуальность диссертационного исследования Гребенщиковой Марины Михайловны определена требованием комплексного подхода к проблеме биомедицинского материаловедения в части разработки новых материалов с биологически активными свойствами, позволяющими получить целостную картину новых свойств и характеристик разработанного материала.

2. Степень обоснованности научных положений, результатов и выводов

В диссертационной работе автор приводит результаты комплексных исследований свойств новых материалов – композиций на основе натуральной кожи и металлов с многослойными наноструктурированными покрытиями из нитридов титана и гафния. Для повышения достоверности результатов измерений в работе используются статистические методы обработки данных такие как метод доверительных интервалов при оценке среднего, пакет программ Статистика для обработки данных.

Обоснованность и достоверность научных результатов подтверждается сопоставлением их с результатами исследований, приведенных другими исследователями.

Таким образом, научные положения, представленные в исследовании, имеют достаточную для диссертации доказанность, достоверность и обоснованность.

3. Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

Разработаны научные основы и технологические подходы к созданию биомедицинских материалов, обладающих биостойкостью и биоактивностью, обеспечивающихся за счет наличия многослойного покрытия из нитридов титана и гафния, и воздействия потоком низкоэнергетических ионов аргона и азота.

Показано, что предварительная обработка коллагенового материала в виде натуральной кожи для протезов потоком низкоэнергетических ионов аргона, генерируемых из высокочастотного разряда пониженного давления, позволяет на следующих стадиях формировать многослойные покрытия из нитрида гафния и нитрида титана и получить биомедицинский материал с высокой адгезионной прочностью, обладающий биостойкостью и биоактивностью.

Установлено, что бомбардировка потоком низкоэнергетических ионов аргона и азота многослойного гафниево-титанового нитридного покрытия с поверхностным слоем из наноструктурированного нитрида гафния толщиной 20-40 нм, повышает выход наночастиц нитрида гафния в жидкие биологические среды.

Методом молекулярной динамики установлено, что обработка покрытия HfN ВЧЕ разрядом ведет к деформации нанокристаллитов и

столбчатых кристаллов HfN, что является основной причиной ослабления межкристаллитной связи и выхода кристаллитов в жидкую среду.

Показано, что в структуре полученных вакуумно-дуговым испарением гафниево-титановых многослойных нитридных покрытий, формируются также слои кристаллитов состава HfTiN₂.

Полученные в результате проведенных исследований результаты представляют собой новое направление в материаловедении биомедицинских материалов, имеют важное научно-практическое значение для дальнейшего развития науки и техники.

4. Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость работы заключается в разработке новых подходов к созданию биологически активных биомедицинских материалов с применением плазменных технологий, позволяющих придавать биоактивные свойства обработкой потоком низкоэнергетических ионов наноструктурированных материалов.

Практическая значимость подтверждается внедрением результатов диссертационного исследования в технологии, применяемые в реальном секторе экономики – на предприятиях, производящих изделия медицинского назначения и кожные материалы.

Разработанные биомедицинские материалы для ортопедии и травматологии на основе полимерных и металлических матриц с наноструктурированным многослойным нитридным гафниево-титановым покрытием с применением плазменных технологий внедрены в ООО «ПТО Медтехника» г. Казань, ООО «Кожевник» г. Казань с суммарным экономическим эффектом 7,45 млн. рублей.

5. Содержание диссертации

Диссертация состоит из шести глав, введения, заключения, списка использованной литературы из 442 наименований, десяти приложений. Диссертация изложена на 380 страницах машинописного текста, содержит 88 рисунков и 27 таблиц.

Во введении обоснована актуальность работы, которая связана с проблемой разработки биомедицинских материалов, активных относительно болезнетворной микрофлоры и не вызывающих аллергических реакций, определены цель, задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ существующих подходов к решению проблемы биологической активности, рассмотрены способы придания

бактерицидности материалам для ортопедии и травматологии, виды и способы получения покрытий, их функции, а также свойства гафния и его нитридов, проведен анализ отечественного и зарубежного опыта применения и исследования этого металла и его соединений. Особое внимание уделено методам плазменного получения покрытий, плазменной модификации и свойствам полученных материалов. На основе этого автор делает вывод о перспективности выбранного направления и необходимости проведения комплексного исследования биомедицинских материалов, полученных с применением плазменных технологий, и формулирует задачи исследования.

Во второй главе подробно описано оборудование, применявшееся в исследовании для получения биомедицинских материалов различной природы, а именно, установка для нанесения покрытий методом конденсации с ионной бомбардировкой, плазменная установка для высокочастотной емкостной обработки потоком низкоэнергетических ионов. Подробно описаны оборудования и методики для комплексных исследований с целью оценки биологически активных свойств материалов, химических методов анализа, методов экстрагирования, рентгеноструктурного анализа, элементного и фазового составов, микроструктуры материалов. Приведено описание биотестов, методов оценки характеристик металлических и кожных материалов, нормативные документы, устанавливающие требования к ним.

В третьей главе приведены основные результаты получения и исследования биомедицинских материалов на металлической и органической основе, внимание уделено обоснованию параметров работы плазменной установки при получении наноразмерных многослойных покрытий методом конденсации с ионной бомбардировкой, представлены теоретические и практические расчеты толщины формирующихся покрытий, а также оценка размеров нанокристаллитов. Представленные результаты исследования биологических свойств наноструктурированных покрытий из нитридов титана и гафния подтверждают биосовместимые свойства разработанных покрытий, а исследование физических и химических свойств — их наноструктуру и барьерные свойства.

В четвертой главе автор приводит теоретические исследования энергетических параметров неравновесной плазмы пониженного давления и основные приемы измерения параметров плазмы. Также представлены результаты исследования влияния потока низкоэнергетических ионов аргона и азота на биологическую активность многослойных нитридных гафниево-титановых покрытий, подтверждена биоактивность полученных покрытий на определенный срок в зависимости от параметров модификации.

В пятой главе описан механизм формирования столбчатых кристаллов гафниевого нитридного покрытия в процессе конденсации наноструктурированных многослойных покрытий, дополнительная обработка потоком низкоэнергетических ионов аргона, генерируемых в ВЧЕ-разряде пониженного давления, проведена теоретическая оценка условий модификации многослойных наноструктурированных покрытий на основе нитридов гафния и титана и представлена модель низкоэнергетической ионной бомбардировки покрытия с применением метода молекулярной динамики.

В шестой главе сформулированы научные основы получения биомедицинских материалов для травматологии и ортопедии с применением плазменных методов. Продемонстрировано практическое применение и важность исследования – приведен расчет экономического эффекта применения разработанных материалов в условиях реального производства – на кожевнном производстве и на заводе по производству медицинских изделий.

В заключении подведены итоги работы, сделаны акценты на основных результатах диссертационной работы: установленных параметрах работы плазменных установок для получения биологически активных материалов, проведенной оценке размеров нанокристаллитов нитрида гафния и регулирования скорости их выхода их наноструктурированных покрытий.

Приложения содержат дополнительные материалы к диссертационной работе, в том числе, режимы работы и чертежи плазменных установок, основные характеристики объектов исследования, результаты внедрения, патенты автора.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций в работе подтверждается применением современных измерительных средств и апробированных методик испытаний согласно ГОСТ, а также использованием в исследованиях экспериментальных методов доказательств достоверности результатов. Достоверность результатов подтверждается также их апробацией на практике и сопоставлением результатов исследований с результатами других авторов.

Результаты работы прошли необходимую **апробацию** на конференциях различного уровня, представлены в 94 научных публикациях, из них 38 – в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, 3 – входящих в международные базы Scopus и WoS, 7 – в журналах, входящих в ядро РИНЦ, 10 – в журналах, входящих в международную базу Chemical abstracts, 4 патентах.

Структура работы логична и последовательна, главы взаимосвязаны. Содержание работы дает основание утверждать, что диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.17. Материаловедение (пп. 5, 12, 15).

6. Критический анализ содержания работы.

При всех достоинствах оппонируемой работы, необходимо отметить моменты, требующие внимания:

1. К замечанию принципиального характера можно отнести следующее. В диссертации приведены значения энергии связи Ti-N ~650 эВ и Hf-N ~ 460 эВ. При таких энергиях связи практически никакие радиационные процессы при облучении материала ионами с энергией 100 эВ и ниже не возможны.
2. В тексте диссертации используются не вполне корректные выражения. Например «О *металлической решеточной структуре* адгезионного слоя»? (стр. 149) Более корректным было бы выражение: «О кристаллической структуре металлического адгезионного слоя».
3. Пункт 2 (стр. 205). Наночастицы не могут мигрировать в твердом теле. Могут мигрировать при соответствующих условиях атомы. Там же, п. 3. В работе электрофизические параметры (концентрация, подвижность, тип носителя) не измерялись. Измерялись электрические параметры – сопротивление.
4. В тексте в основном используется единица измерения давление в Па. Однако, местами данные приводятся в Торр. Например, рис. 4.11.
5. Стр. 146-147. Индексы кристаллических плоскостей записываются в круглых скобках, например (110), а не через точки 1.1.0.
6. Местами подрисуночный текст не соответствует рисунку. Перепутана последовательность рисунков.
7. Много грамматических ошибок.
8. И последнее, скорее не как замечание, а как пожелание. Стр. 252 и «Выводы» по главе 5, п.5. Я бы добавил: деформация наночастиц HfN ведет к формированию сдвиговых напряжений на границе раздела нанокристаллит/подложка и как следствие, к уменьшению их адгезионной прочности.

Вышеприведенные замечания носят частный характер, не снижая высокого уровня работы в целом.

7. Соответствие диссертации критериям ВАК

Диссертация Гребенщиковой Марины Михайловны отвечает всем требованиям ВАК Российской Федерации к докторским диссертациям: поставлена и решена научная проблема, получены существенные результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью, основные результаты опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, индексируемых в международных базах и из Перечня ВАК, результаты апробированы на конференциях различного уровня, и внедрены в промышленное использование.

Считаю, что представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой и полностью удовлетворяет всем критериям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к докторским диссертациям (утверждено Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013).

Заключение

Диссертационная работа выстроена последовательно и логично, с взаимным дополнением глав. Это приводит к созданию целостного научного произведения, объединяющего базовые научные основы и реальные прикладные возможности.

Исследование Гребенщиковой М.М. отличается научной новизной, теоретической значимостью и практическим потенциалом. Автореферат соответствует структуре диссертации и полностью раскрывает ее содержание. Достигнутые результаты автора полностью соответствуют поставленным целям и задачам, а диссертация содержит мотивированное заключение.

Диссертационная работа Гребенщиковой Марины Михайловны «Научно-технологические основы создания биомедицинских материалов с многослойными наноструктурированными биоактивными и биостойкими покрытиями с применением плазменных технологий» является завершенной научно - квалификационной работой, выполненной на высоком исследовательском уровне.

Диссертационная работа представляет научно-обоснованные разработки, для решения ряда важнейших научных и прикладных задач производства материалов для травматологии и ортопедии и имеющих большое хозяйственное значение, которые заключаются в создании и внедрении новых технологических процессов в кожевенное производство при изготовлении протезно-ортопедической продукции, а также в

производство изделий медицинского назначения, с применением метода получения многослойных наноструктурированных покрытий и модификации их в ПНЭИ с целью регулирования биоактивности.

Автор работы, Гребенщикова М.М. обладает необходимыми научными достижениями и заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Я, Файзрахманов Ильдар Абдулкабирович, согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

27 ноября 2025 года И.А. Файзрахманов



Подпись И. А. Файзрахманова
Заверяю: зав. канцелярией КФТИ - обособленного
структурного подразделения ФИЦ КазНИЦ РАН.
Н. Г. Куркина
27.11.2025

Официальный оппонент, доктор
физико-математических наук, д.ф.-м.н.,
главный научный сотрудник
Казанского физико-технического
института им. Е.К. Завойского –
обособленного структурного
подразделения федерального
государственного бюджетного
учреждения науки «Федеральный
исследовательский центр «Казанский
научный центр Российской академии
наук»

И.А. Файзрахманов

Файзрахманов Ильдар Абдулкабирович, доктор физико-математических наук, (01.04.10 – физика полупроводников), главный научный сотрудник Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского – обособленного структурного подразделения федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»
Почтовый адрес: 420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 10/7,
Тел. +7-843-2725044, fiak@kfti.knc.ru

Вход. № 05-8773
« 13 » 01 2026
подпись И.А.