

ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПЛЕНОК ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА С НАНОЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

В.А. Лапицкая¹, Г.Б. Мельникова¹, Т.А. Кузнецова¹,
А.Д. Замковец², С.А. Чижик¹, Д.А. Котов³

¹ Институт тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь; vasilinka.92@mail.ru

² Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси Минск, Республика Беларусь

³ Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

Введение. На структуру и свойства сформированных на поверхности пленок большое влияние оказывают исходные характеристики субстрата (шероховатость, химический состав и структура). Поэтому перед модификацией поверхности проводят ее предварительную обработку с целью очистки и структурирования. Для этого используют обработку в ультразвуковой ванне, кипячение растворах различного химического состава, ионно-лучевую обработку. Для тонких полимерных пленок хорошо себя зарекомендовала обработка низкотемпературной плазмой диэлектрического барьерного разряда в токе инертного газа (ПДБР), которая позволяет модифицировать поверхность, изменяя ее структурно-функциональные свойства.

Цель работы — изучить влияние предварительной обработки поверхности субстрата ПДБР на структуру и свойства тонких полимерных композиционных пленок, допированных наночастицами.

Материалы и методы исследования. Пленки полиметилметакрилата (ПММА) и ПММА с наночастицами диоксида кремния ($d = 10\text{—}20\text{ nm}$, Sigma-Aldrich) формировали методом спин-коутинга (центрифугирования) на предметных стеклах, предварительно обработанных ПДБР (мощность источника $10\text{—}30\text{ Вт}$, расстояние от источника до образца — 20 мм) в течение 1 мин . Скорость вращения подложки составляла 8000 rpm в течение 2 мин . Пленки ПММА ($M_w = 15\ 000$, Sigma-Aldrich) выделяли из раствора в хлороформе с концентрацией 1 мг/мл . Композиционные пленки ПММА с наночастицами формировали из смеси суспензий ($c = 1\text{ мг/мл}$) ПММА и диоксида кремния в хлороформе в количественном соотношении $1 : 250$ моль, соответственно.

Исследования структуры проводили на атомно-силовом микроскопе (АСМ) Dimension FastScan (Bruker, США) в режиме PeakForce QNM с использованием стандартных кремниевых кантилеверов типа MPP-21100 (Bruker, США) с радиусом закругления острия 17 нм , с жесткостью консоли $2,63\text{ Н/м}$. Значения модуля упругости и силы адгезии рассчитывали по модели Джонсона – Кенделла – Робертса.

Спектры пропускания записывались на спектрофотометре Cary 500 (Varian Inc., США), спектры зеркального отражения — на спектрофотометре MC122 (SOLInstruments, Республика Беларусь). Угол падения при записи спектров отражения со-

ставлял 10° в диапазоне длин волн от 190 до 1200 нм .

Результаты и их обсуждение. Обработка поверхностей предметных стекол ПДБР позволила сформировать однородные по толщине пленки (рис. 1), значения локального модуля упругости составляют $114,0\text{ МПа}$ и силы адгезии $13,0\text{ нН}$.

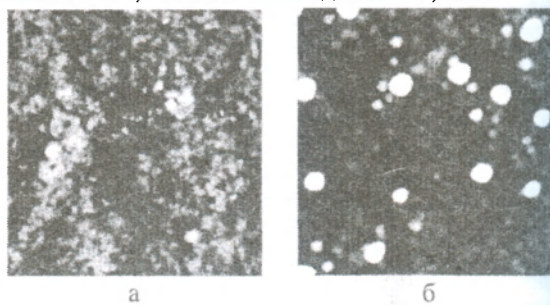


Рис. 1. АСМ-изображения ($1 \times 1\text{ }\mu\text{м}$) структуры пленок ПММА (а) и ПММА с наночастицами оксида кремния (б)

Наночастицы диоксида кремния равномерно распределены по поверхности в композиционных пленках. Диаметр частиц составляет 40 нм , что значительно меньше по сравнению с образующимися на поверхностях без обработки плазмой (100 нм и более). Введение наночастиц диоксида кремния позволяет повысить гидрофобные свойства поверхности, уменьшая значения силы адгезии до $8,1\text{ нН}$, однако модуль упругости пленки уменьшается до значений $64,1\text{ МПа}$. Нанесение наночастиц диоксида кремния на поверхность ПММА не позволило сформировать однородный структурированный слой наночастиц на поверхности полимера, значения модуля упругости увеличиваются незначительно, а гидрофильные свойства возрастают в 2 раза.

Светопропускание и светоотражение модифицированных стекол не изменилось по сравнению с исходными образцами.

Заключение. На основании проведенных исследований показана возможность использования низкотемпературной плазмы ДБР для формирования однородных наноструктурированных поверхностей, которые могут быть применены в оптических устройствах и сенсорах различного назначения.

Благодарность. Работа выполнена в рамках ГПНИ «Энергетические системы, процессы и технологии», зад. 2.82.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОК ТАНТАЛА И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИА.С. Петровская¹, Г.Б. Мельникова¹, Т.А. Кузнецова¹,
С.А. Чижик¹, А.В. Зыкова², В.И. Сафонов²¹Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь;
agata.petrovskaya@gmail.com²Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина

Введение. Развитие малоинвазивных технологий в медицине привело к разработке стентов для коронарного шунтирования. Для изготовления современных стентов используют как полимеры, так и металлы, наиболее широко распространены сталь и легированные сплавы титана, хрома и кобальта. В настоящее время существует ряд нерешенных проблем, связанных со стентированием, а именно биообрастание поверхности используемых материалов. Поэтому для улучшения характеристик их поверхность покрывают различными типами покрытий [1]. Одним из наиболее перспективных составов для стентов из нержавеющей стали является тантал, обладающий хорошей биосовместимостью, механической прочностью, коррозионной стойкостью и рентгеноконтрастностью. При эксплуатации стентов важной поверхностной характеристикой является коэффициент трения. Большой коэффициент трения увеличивает риск миграции клеток на стенке и вызывает трудности при его установке. Нанесенное на имплантат покрытие позволяет снизить значение коэффициента.

Целью данной работы является определение коэффициента трения и шероховатости наноструктурированных пленок тантала и его соединений на подложках стекла и нержавеющей стали типа 316 LSS с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Методы и материалы. Подготовка образцов проводилась в Харьковском физико-техническом институте НАН Украины. Подложки из стали и стекла очищались в ультразвуковой ванне по стандартной методике и пучком ионов средних энергий в атмосфере аргона. После чего на них наносились покрытия Ta, Ta₂O₅, TaN, TaON методом реактивного магнетронного распыления [2]. Исследование микроструктуры и физико-механических характеристик поверхности проводили на приборе NT-206 (ОДО «Микротестмашины», Республика Беларусь). Для определения коэффициента трения использовали стандартные кантилеверы NCS 11 («Mikrotomach», Эстония), с жесткостью 3 Н/м. При определении коэффициента трения радиус кривизны кантилевера увеличивали до 100 нм путем сканирования поверхности кремния при увеличенных нагрузках.

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных исследований было установлено, что

микроструктура поверхности покрытия зависит от используемой подложки. Поверхность нержавеющей стали имеет ячеистую структуру со среднеквадратичной шероховатостью (Rq) 5,0 нм и коэффициентом трения 0,072. После напыления на нее пленок Ta, TaN или TaON ячеистая структура сохраняется, однако присутствует двухфазность в режиме латеральных сил. При этом, в случае нанесения пленок TaN, TaON, значения Rq увеличиваются до 7,0–8,0 нм и остаются в пределах 5,0 нм при нанесении Ta. После нанесения на сталь данных наноструктурированных пленок коэффициент трения уменьшается и составляет 0,014 (Ta) и 0,019 (TaN и TaON). Для поверхности Ta₂O₅ на стали характерны неравномерная островковая локализация частиц и коэффициент трения 0,041. Таким образом, все нанесенные пленки тантала и его производных на сталь значительно уменьшили коэффициент трения. Для поверхности стекла характерны разноразмерные ориентированные полосы, с Rq равной 3,0–4,0 нм и коэффициентом трения 0,026. Напыление пленок Ta₂O₅ или TaON на предметное стекло позволило получить гладкую ячеистую поверхность с минимальными значениями Rq. Однако после нанесения Ta₂O₅ на поверхность стекла происходит увеличение коэффициента трения до 0,038. В случае пленки TaON коэффициент трения составляет 0,016. Из этого следует, что пленки TaON более предпочтительны для изготовления стентов.

Заключение. На основании проведенных исследований методом АСМ установлено, что формирование наноструктурированных пленок соединений тантала позволяет существенно снизить коэффициент трения используемых подложек, и может найти применение в качестве перспективных материалов для изготовления стентов, которые позволяют поддерживать и не снижать кровоток по стенкам сосуда.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта БРФФИ № Ф18УКА-015 и гранта Национальной академии наук Украины № 17-3-18.

4. Коган М. И., Шводкин С.В. Направления и перспективы в разработке урологических стентов (обзор литературы) // Экспериментальная и клиническая урология. — 2014, № 4, 64–71
3. Melnikova G. B. [et al] Structure of Tantalum and Tantalum Oxide Coatings on Steel and Glass Surfaces // International Journal of Nanoscience. — 2019
<https://doi.org/10.1142/S0219581X19400787> (In press)

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МИКРОЧАСТИЦ КУРКУМИНА РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА МЕТОДОМ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШКИ

Д.Л. Радюкевич¹, В.М. Акулова¹, Г.Б. Мельникова¹,
С.А. Чижик¹, Нгуен Трон Тин², Нгуен Тан Бин²

¹Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 220072, Минск, Беларусь;

²Институт прикладной физики и научного инструмента ВАНТ, г. Ханой, Вьетнам; galachkax@gmail.com

Введение. Получение микрочастиц пролонгированного действия с контролируемым высвобождением активных веществ актуальное направление в фармакологии и биотехнологии. Размер и форма микрочастиц являются одними из определяющих факторов в процессах высвобождения активных веществ. Так микрочастицы сферической имеют более простой и удобный механизм растворения. Такие частицы способны продлевать действие активного вещества, улучшать его биодоступность и снижать возможные побочные эффекты. Чаще их применяют в лекарственных формах для прерорального приема, ингаляций или введением в кровоток [1-2].

Материалы и методы. Микрочастицы получали методом распылительной сушки на установке LU-222 Advanced (Labultima, Индия). Для водных и водно-спиртовых растворов использовали параметры процесса: уровень вакуума — 2100 Па, температуре осушающего газа 170 °С, давлении распыления жидкости 4 кг/см².

В качестве компонентов для формирования микрочастиц использовали амоксициллин (АМ, ФармЛэнд, Республика Беларусь) и куркумин (СНЕМ-ИМПРЕХ INT'L INC, Mw 368,38, чистота 98,24%). Желатин марки П-11, ГОСТ 11293 выступал в качестве матрицы.

Микрочастицы желатина были получены из 3,22 мас.% водного раствора, амоксициллина (АМ) — 0,66 мас.%. Микрочастицы куркумина из 1,2 мас.% раствора ацетона при температуре осушающего газа 90°С. Составы растворов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Составы растворов для получения композитных микрочастиц

Состав/№	АМ — вода, мас.%	Куркумин в С ₂ Н ₅ ОН, мас.%	Желатин в воде, мас.%
К-Ж	—	0,3	2,0
Глицерин (0,7%)-К-Ж	—	0,3	2,0
АМ-К	0,5	0,3	—
АМ-Ж	1,0	—	2,0
АМ-К-Ж	1,0	0,3	2,0

Полученные микрочастицы исследовали методом оптической микроскопии с использованием микроскопа Микро-200 (ГНПО «Планар», Республика Беларусь).

Результаты и выводы. Согласно оптическим изображениям (рис. 1) можно утверждать, что композитные составы, содержащие желатиновую матрицу, имеют сферическую форму диаметром от 3 до 7 мкм. Средний диаметр частиц чистого желатина и композитов с желатиновой матрицей совпадают.

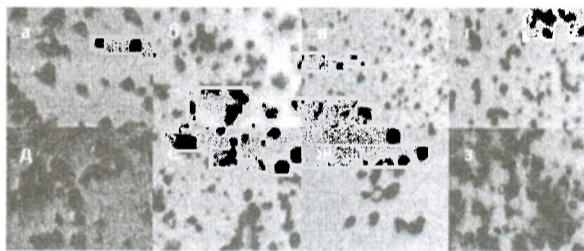


Рис. 1. Оптические изображения микрочастиц различного состава. а) желатин, б) амоксициллин, в) куркумин, г) АМ-К, д) К-Ж, е) Г-К-Ж, ж) АМ-Ж, з) АМ-К-Ж.

Микрочастицы куркумина и куркумина с АМ не имеют определенной формы. Добавление желатина в состав суспензии позволяет в процессе распыления сформировать микрочастицы сферической формы как наиболее термодинамически стабильного состояния.

Введение глицерина в раствор желатина приводит к образованию структур сферо- и палочкообразной формы (рис. 1, е). Согласно данным работы [3] происходит взаимодействие между гидроксильными группами белков желатина и глицерина, изменяется пространственная структура белков и в процессе сушки формируются частицы различной формы.

Благодарности. Работа выполнена в рамках программы Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований № Ф18В-007.

- Горева А. В. [и др.] Характеристика полимерных микрочастиц на основе резорбируемых полиэфиов окислкановых кислот в качестве платформы для депонирования и доставки препаратов // Высокомолекулярные соединения. — 2012 (54), № 2, 224—236
- Агабеков В. Е. [и др.] Нано-и микро- контейнеры для доставки биологически активных веществ // Наука и инновации. — 2017 (170), № 4, 16—19
- Sarika P. R. [et al] Preparation, characterization and biological evaluation of curcuminloaded alginate aldehyde-gelatin nanogels// Materials Science and Engineering — 2016 (68), 251—257