

УДК 539.23

## ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ СПИН-КОАТИНГА

Петровская А.С.<sup>1</sup>, Радюкевич Д.Л.<sup>1</sup>, Мельникова Г.Б.<sup>1,2</sup>, Чижик С.А.<sup>1,3</sup>, Сапсалёв Д.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси»

<sup>2</sup>Белорусский государственный педагогический университет имени М. Танка

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Разработана методика получения пленок методом спин-коатинга на основе водорастворимых полимеров (поливинилового спирта и хитозана) и неорганических наночастиц оксида алюминия. На основании данных атомно-силовой микроскопии о структуре покрытий определена оптимальная концентрация наночастиц оксида алюминия в полимерных пленках, которая составила 0,63 %.

**Ключевые слова:** нанокomпозиционные пленки, наночастицы оксида алюминия, поливиниловый спирт, спин-коатинг, хитозан.

## COMPOSITE COATINGS BASED ON WATER-SOLUBLE POLYMERS AND INORGANIC ALUMINUM OXIDE NANOPARTICLES FORMATION BY SPIN-COATING TECHNIQUE

Petrovskaya A.<sup>1</sup>, Radyukevich D.<sup>1</sup>, Melnikova G.<sup>1,2</sup>, Chizhik S.<sup>1,3</sup>, Sapsaliou D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of NAS of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank

<sup>3</sup>Belarusian National Technical University  
Minsk, Belarus

**Abstract.** A method has been developed for obtaining films based on water-soluble polymers (polyvinyl alcohol and chitosan) and inorganic aluminum oxide nanoparticles by the spin-coating technique. Based on the data of atomic force microscopy on the structure of the coatings, the optimal concentration of aluminum oxide nanoparticles in polymer films was 0.63%.

**Key words:** chitosan, nanocomposite films, nanoparticles of aluminum oxide, polyvinyl alcohol, spin-coating.

Адрес для переписки: Петровская А.С., ул. П. Бровки, 15, г. Минск 220072, Республика Беларусь  
e-mail: agata.petrovskaya@gmail.com

**Введение.** Актуальной задачей как наноматериаловедения, так и медицины является разработка сорбирующих пленок биополимеров. В качестве биополимеров могут быть использованы поливиниловый спирт (ПВС), полиакриловая и полиметакриловая кислоты, целлюлоза, хитозан, желатин и др. [1, 2]. Преимущества таких полимерных пленок существенны: более высокая степень защиты по сравнению с тканевыми материалами, а также их полная атравматичность. Одним из важнейших показателей защитных полимерных пленок является их влагопоглощающая способность, поскольку с этой характеристикой связана и способность полимерного покрытия к сорбции раневого экссудата, и влаго- и газопроницаемость пленки, а также их транспортные свойства в отношении высвобождения активных лекарственных компонентов [3].

**Материалы и методы исследования.** Перед нанесением пленок, кремниевые пластины 1x1 см гидрофилизировали выдерживанием в течение 15 минут при 70 °С в пероксидно-аммиачной смеси, затем промывали дистиллированной водой и сушили в токе азота.

Раствор хитозана готовили с концентрацией  $c = 0,25$  мг/мл в растворе 1М уксусной кислоты. Раствор ПВС в дистиллированной воде исполь-

зовали с концентрацией  $c = 1$  мг/мл. Перед нанесением на кремниевые пластины полученные растворы подвергали воздействию ультразвука (УЗ; Bandelin electronic, Germany; частота 35 кГц) в течение 5 мин. Исходную суспензию наночастиц (н-ц) оксида алюминия ( $w = 20$  масс. %  $Al_2O_3$  в  $H_2O$ ,  $d=30-60$  нм; Sigma-Aldrich, China) разбавляли дистиллированной водой до концентраций 5 масс. %, 1,25 масс.% и 0,63 масс.%.

К 1 мл раствора хитозана,  $c = 0,5$  мг/мл, и 1 мл раствора ПВС,  $c = 2$  мг/мл, добавляли по 1 мл  $Al_2O_3$  определенной концентрации. Полученные растворы УЗ 15 мин. Для нанесения пленок методом спин-коатинга на кремниевые пластины, вращающиеся со скоростью 3000 об/мин, прикапывали растворы объемом 8 мкл. Для формирования многослойных покрытий между нанесением слоев выдерживали 1 мин для испарения остатков растворителя (вращение не прекращалось).

Морфологию поверхности полученных пленок исследовали методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) на приборе NT-206 (ОДО «Микротестмашины», Республика Беларусь) с использованием стандартных кремниевых кантилеверов NCS 11 A (Mikromasch, Эстония), константа жесткости согласно паспорту производителя 3 Н/м.

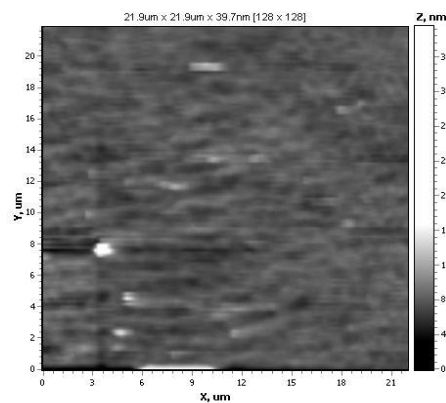
**Результаты и их обсуждение.** Методом АСМ установлено, что структура поверхности пленки хитозана является однородной (средне-квадратичная шероховатость 1,0 нм). Для пленки ПВС характерны «неровности» поверхности, значение шероховатости увеличивается и составляет 1,5 нм. Следует также отметить, что пленка хитозана более равномерно распределена по поверхности подложки.

Различная концентрация  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в растворе приводит к получению полимерных пленок с различной морфологией поверхности. Так, пленки хитозана и ПВС с  $w$  (н-ц  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) = 5 % обладают большим числом конгломератов, локализованных в виде «островков» и «цепочек». На поверхности полимерных пленок с  $w$  (н-ц  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) = 1,25 % присутствуют как отдельные наночастицы  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , так и конгломераты, однако их количество значительно меньше по сравнению с предыдущим составом нанокomпозиционных пленок. Кроме того, на скопление наночастиц влияет не только концентрация  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , но и химический состав и структура полимера из которого сформирована пленка. Большее количество конгломератов наблюдается у пленок ПВС, что обусловлено большим количеством гидроксильных групп в молекуле полимера, и, как следствие, высокой степенью взаимодействия и обволакивания им наночастиц оксида алюминия.

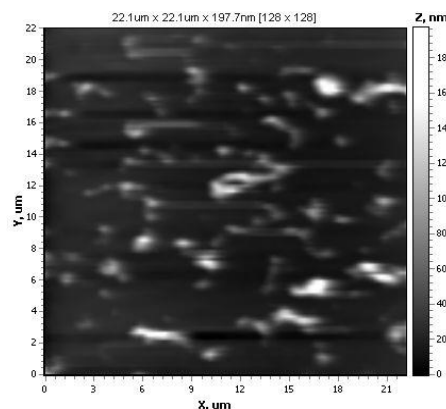
При  $w$  (н-ц  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) = 0,63 % на поверхности пленки хитозана наблюдаются неравномерно распределенные единичные наночастицы оксида алюминия (рис. 1, а). На поверхности пленки ПВС (рис. 1, б), при данной концентрации  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , присутствует значительно большее количество наночастиц, чем на поверхности пленки хитозана.

Следует отметить, что количество конгломератов наночастиц на поверхности пленки ПВС уменьшается, а отдельных наночастиц – увеличивается, из чего следует, что оптимальная концентрация наночастиц  $\text{Al}_2\text{O}_3$  составляет 0,63 %. Таким образом, для дальнейшего исследования были выбраны полимерные пленки с концентрацией наночастиц 0,63 %.

**Заключение.** Была разработана методика получения пленок на основе водорастворимых полимеров и неорганических наночастиц оксида алюминия методом спин-коатинга. В результате чего были получены пленки хитозана, ПВС, и композиционные с наночастицами оксида алюминия различной концентрации. Оптимальная концентрация наночастиц в полимерных пленках составила 0,63 %. Данные пленки могут найти свое применение в качестве раневых покрытий.



а



б

а – хитозан +  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; б – ПВС +  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Рисунок 1 – АСМ-изображения поверхности полимерных пленок с наночастицами оксида алюминия ( $w = 0,63$  %), поле сканирования  $22 \times 22$  мкм<sup>2</sup>

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований № Т21М-051.

#### Литература

1. Mallakpour, S. Enhancement in thermal properties of poly(vinyl alcohol) nanocomposites reinforced with  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nanoparticles / S. Mallakpour, M. Dinari // Journal of Reinforced Plastics and Composites. – 2012. – Vol. 32, № 4. – P. 217–224.
2. Соловьев, В. С. Полимерные водопоглощающие композиции с повышенной прочностью / В. С. Соловьев, М. В. Успенская, Н. В. Сиротинкин // Изв. Вузов. Приборостроение. – 2017. – Т. 53, № 4. – С. 63–65.
3. Пленочные полимерные покрытия на основе хитозана / Р. Д. Каримова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 11. – С. 132–135.