

установлено положительное влияние водных суспензий TiO_2 на всхожесть семян и ростовые характеристики проростков белокочанной капусты [1]. При этом важно выбрать оптимальные составы и концентрации суспензий, чтобы не угнетать, а только стимулировать рост и развитие растений [1]. Для этого в ряде случаев полезно пассивировать поверхность TiO_2 функциональной оболочкой. В данной работе для предпосевной обработки семян кресс-салата сорта Ажур, белокочанной капусты сорта Ренса де Ровоа, ярового ячменя сорта Ленинградский были использованы водные суспензии наночастиц TiO_2 , поверхность которых модифицирована обработкой в кремнезоле посредством золь-гель метода. Формирование частиц со структурой «ядро-оболочка» $\text{TiO}_2@\text{SiO}_2$ было подтверждено методами просвечивающей электронной микроскопии и ИК-спектроскопии [2]. Результаты экспериментов по проращиванию семян, обработанных водными суспензиями исследуемых частиц $\text{TiO}_2@\text{SiO}_2$ в различных концентрациях (0,0001-1 мг/л), в сравнении с использованием аналогичных суспензий частиц TiO_2 без оболочек кремнезема, показали, что в случае кресс-салата и белокочанной капусты формирование структуры $\text{TiO}_2@\text{SiO}_2$ приводит к повышению всхожести, длины ростков и длины корней по сравнению с контрольными семенами и семенами, обработанными суспензиями наночастиц TiO_2 без оболочки. Напротив, в случае ячменя формирование оболочки SiO_2 привело к снижению всех показателей по сравнению с использованием TiO_2 без функциональной оболочки. Полученный результат свидетельствует о необходимости индивидуального подхода к каждому виду и даже сорту растений.

Список литературы

1. Khamova T. V., Kopitsa G. P., Nikolaev A. M., Kovalenko A. S. et al. The structure and properties of TiO_2 nanopowders for use in agricultural technologies // *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2021. V. 11. № 4. P. 12285–12300. <https://doi.org/10.33263/BRIAC114.1228512300>.
2. Shilova O. A., Kovalenko A. S., Nikolaev A. M. et al. Surface and photocatalytic properties of sol-gel derived $\text{TiO}_2@\text{SiO}_2$ core-shell nanoparticles // *J Sol-Gel Sci Technol*. 2023. V. 108. P. 263–273. <https://doi.org/10.1007/s10971-022-05943-510>.

АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПОКРЫТИЯ

Д. Л. Коваленко¹, В. В. Васькевич¹, В. Е. Гайшун¹, Я. А. Косенок¹, Д. Ж. Бекчанов²

¹Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, dkov@gsu.by;

²Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека,
Республика Узбекистан, bekchanovdj@gmail.com

Современные антибактериальные покрытия представляют собой материалы, содержащие вещества, которые предотвращают или замедляют рост и размножение бактерий. Они широко применяются в различных областях, включая медицину, строительство, производство товаров для дома и пищевую промышленность, для обеспечения гигиеничности и предотвращения распространения инфекций.

Золь-гель технология позволяет создавать покрытия с хорошей адгезией к различным материалам, высокой однородностью, и возможностью контролировать их свойства. Кроме того, золь-гель покрытия могут быть нанесены на сложные поверхности и иметь различную толщину. Разрабатываемые антибактериальные композиционные золь-гель покрытия содержат в своей структуре антимикробные компоненты, такие как наночастицы серебра, оксиды металлов с антимикробной активностью и органические соединения с антибактериальными свойствами.

Для получения композиционных покрытий с хорошей пластичностью и адгезией к различным поверхностям необходимо использовать гибридные составы, в которых совместно с традиционными кремниевыми составляющими используются органические соединения других металлов, например титана или циркония. Также важную роль имеет правильный выбор растворителя и катализатора. Как показывают предыдущие исследования использования правильного растворителя позволят получать покрытия, обладающие необходимой вязкостью и адгезией к используемым подложкам [1–3].

Пленкообразующий раствор готовят использованием методики совместного гидролиза, когда все основные органические соединения веществ смешиваются в одной емкости с растворителем и водой. Или методики раздельного гидролиза, когда каждое соединения отдельно гидролизуются, а уже после созревания смешивается. После созревания в готовые растворы были добавлены наноразмерный оксид титана в концентрации до 30 масс.%, наночастицы металлов в концентрациях от 3 до 10 масс.% и соединения с антибактериальными свойствами до 2 масс.%.

Готовые растворы наносили методом распыления по всей поверхности равномерным слоем на прямоугольные подложки (размером 10×5 см) и кружки (диаметром 3 см) из алюминиевого сплава 1105АМ.

На завершающем этапе термическая обработка приводит к разложению промежуточных продуктов гидролиза и полному удалению остатков растворителя и органических веществ. Сушка проводится поэтапно: в начальный период (при интенсивном испарении растворителя) при температуре (60–100) °С в течение 20–30 минут (скорость нагрева ≈ 5 °С в минуту), затем при температуре (200–250) °С в течение 30–60 минут (скорость нагрева ≈ 10 °С в минуту). Толщина полученных композиционных покрытий варьируется от 12 мкм до 26 мкм и зависит концентрации оксида титана и наночастиц металлов.

Исследования адгезионных свойств проводили согласно ГОСТ 31149-2014 методом решетчатого надреза. Результаты испытания показывают, что все покрытия имеют самый высокий класс адгезии согласно ISO 2409:2013 – Класс 0 (края надрезов полностью гладкие; сегменты решетки не отслоились). Стоит отметить, что увеличение концентрации наполнителей не влияет на адгезионные свойства композиционных золь-гель покрытий.

Прочность полученных покрытий определяли с помощью карандаша ГОСТ Р 54586-2011 (ISO 15184:1998). Твердость покрытия варьировалась от 6В до 9Н.

Увеличение содержания наноразмерного оксида титана до 30 масс.% приводит к незначительному снижению твердость получаемых покрытий с 6Н (при концентрации 10 и 20 масс.%) до 5Н (при концентрации 30 масс.%). Увеличение концентрации наночастиц металлов и антибактериальных добавок не влияет на твердость получаемых материалов.

Методом рентгеноструктурного анализа показано, что на поверхности образуется покрытие со структурой титана обладающим фотокаталитическим эффектом. Ранее в работах [4–5] была показана эффективности данного материала при исследовании фотокаталитического эффекта разложения молекул красителя «Метиленовый синий».

Полученные покрытия могут использоваться для защиты различных поверхностей от бактериального загрязнения, например, в медицинских устройствах, упаковке пищевых продуктов, строительных материалах и других областях.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Т25УЗБ-112), министерства инновационного развития Республики Узбекистан и государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Материаловедение, новые материалы и технологии» задания 4.1.1 и 4.1.6.

Список литературы

1. Защитные золь-гель покрытия с гидрофобными свойствами / В. В. Васькевич, В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, В. В. Сидский // Проблемы физики, математики и техники. – 2011. – №3 (8). – С. 15–19.

2. Формирование и исследование свойств золь-гель покрытий, предназначенных для модификации поверхности полимерных материалов / В. В. Васькевич, В. В. Сидский, А. В. Семченко, В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, А. А. Бойко, А. А. Алексеенко // Полимерные материалы и технологии. – 2019. – №4(4). – С. 64-70.

3. Effect of graphene on mechanical and anti-corrosion properties of TiO₂-SiO₂ sol-gel coating / D. L. Kovalenko, V. Uong Van, V. P. Mac, T. V. Nguyen, L. Pham Thi, T. A. Nguyen, V. E. Gaishun, V. V. Vaskevich, and D. L. Tran // Anti-Corrosion Methods and Materials, 2024, – Vol. 71. – №. 6. – pp. 820-830. (<https://doi.org/10.1108/ACMM-05-2024-3023>).

4. Наноструктурированные фотокаталитические золь-гель покрытия на основе титана / В. В. Васькевич, Д. Л. Коваленко, А. В. Семченко, В. В. Сидский, М. А. Ковалевич // Проблемы физики, математики и техники. – 2011. – №4 (25). – С. 7–10.

5. TiO₂ Sol–Gel Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications / D. Kovalenko, V. Gaishun, V. Vaskevich, A. Semchenko, O. Ruzimuradov // Titanium Dioxide-Based Multifunctional Hybrid Nanomaterials: Application on Health, Energy and Environment. –Springer, 2025. – P. 55–72.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ИОНОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИОННОЙ ЖИДКОСТИ ОМІМ ВF₄ И МЕЗОПОРИСТОГО SiO₂ МЕТОДОМ МУРР

**Г. П. Копица¹, С. Ю. Котцов², А. Е. Баранчиков², А. А. Павлова¹,
А. О. Бадулина^{2,3}, Ю. Е. Горшкова⁴, Н. А. Селиванов², Т. В. Хамова⁵,
Н. П. Симоненко², М. Е. Никифорова², В. К. Иванов²**

¹*Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова –
НИЦ «Курчатовский институт», Российская Федерация;*

²*Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН,
Российская Федерация, n_simonenko@mail.ru;*

³*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Российская Федерация;*

⁴*Лаборатория Нейтронной Физики им. И. М. Франка,
Объединенный Институт Ядерных Исследований, Российская Федерация;*

⁵*Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИХС, Российская Федерация*

Ионогели – новый класс гибридных материалов, содержащих в себе ионную жидкость (ИЖ), иммобилизованную в твердой матрице. ИЖ – расплавы органических солей, состоящие из пространственно-изолированных органических катионов и неорганических или органических анионов. ИЖ обладают уникальными свойствами: низкая температура плавления, отсутствие давления насыщенных паров, высокая полярность и электропроводность, химическая и термическая устойчивость, широкое окно электрохимической стабильности, негорючесть. Большое внимание привлекают ионогели с использованием матриц на основе SiO₂, из-за простоты их производства и широкого спектра применения: от создания суперконденсаторов и биосенсоров до доставки лекарств. Влияние самоорганизации ИЖ в ограниченном пространстве матрицы на морфологию и структуру получаемых ионогелей вызывает наибольший интерес.

В настоящей работе для получения ионогелей в качестве ИЖ использовали тетрафторборид 3-октил-1-метилимидазолия (ОМІМ ВF₄). Было синтезировано два типа ионогелей: физические (ИЖ, доведенная до гелеобразного состояния не связанными друг с другом частицами загустителя) [1] и химические (ИЖ, иммобилизованная в открытой трехмерной пористой матрице).

Для физических ионогелей в качестве матрицы использовали Аэросил А380 (порошок SiO₂ с размером первичных частиц ~7 нм и удельной поверхностью 380 м²/г), который добавляли