

УДК 681.2:004.42

ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., Фахрисламова Д.У.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Российская Федерация, salikhovrb@yandex.ru

Аннотация: Современные исследования в области композиционных материалов на базе природных полимеров открывают новые горизонты для создания биосовместимых электроники. Сукцинат хитозана, благодаря своим уникальным свойствам, становится все более распространенным в разработке сенсорных устройств, способных эффективно взаимодействовать с человеческим организмом. В частности, композитные сенсоры на основе хитозана продемонстрировали выдающиеся результаты в обнаружении специфических энантиомеров, что представляет значительный интерес для фармацевтической диагностики. Важным аспектом работы с тонкопленочными структурами является выбор наполнителей. Оксид графена и углеродные нанотрубки не только улучшают механические характеристики, но и способствуют повышению электропроводности композитов. Эффективная интеграция таких наполнителей в матрицу на основе сукцинамида хитозана открывает возможность создания более чувствительных и стабильных сенсоров. Метод атомно-силовой микроскопии сыграл ключевую роль в исследовании поверхности этих тонких пленок, позволяя детально проанализировать их микроструктуру и взаимодействия между компонентами. Полученные данные не только подтвердили перспективность использования модифицированных биополимеров, но и стали основой для разработки полевых транзисторов, что может привести к значительным прорывам в области медицинской электроники и диагностики.

Ключевые слова: тонкие пленки, сукцинамид хитозана, полевой транзистор, подвижность носителей заряда.

I. ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом научные исследования в области материаловедения и электроники становятся все более актуальными, что ведет к разработке новых технологий и улучшению существующих. Одной из перспективных областей является полимерная электроника, основанная на использовании новых полимерных соединений в виде тонких пленок наноразмерной толщины. Эти материалы обладают высокой энергоэффективностью и могут быть использованы в различных приложениях, включая гибкие электронные устройства и сенсоры [1-3].

Однако многие органические соединения, применяемые в полимерной электронике, не всегда обеспечивают необходимую электропроводность, что создает потребность в композитных и нанокompозитных структурах. В последние годы наблюдается активный рост интереса к гибридным материалам, которые объединяют преимущества полимеров и углеродных наноматериалов, таких как углеродные нанотрубки и оксид графена [4]. Эти композиты улучшают характеристики устройств, снижая при этом затраты на производство по сравнению с традиционными неорганическими материалами.

Натриевая соль сукцинамида хитозана (СХТЗ) представляет собой новый многообещающий материал, обладающий хорошей электропроводностью, биосовместимостью и нетоксичностью. Она находит применение в таких областях, как пищевая промышленность, косметика и биотехнология, и становится все более популярной в научных исследованиях [5-8]. СХТЗ используется для создания тонкопленочных нанокompозитных мембран и эффективных сенсорных платформ, что открывает новые горизонты для практического применения в электронике.

Цель данной статьи – исследование композитных и нанокompозитных тонкопленочных структур на основе СХТЗ с различными углеродсодержащими наполнителями, такими как оксид графена и углеродные нанотрубки. Также в работе будет рассматриваться создание тонкопленочных полевых транзисторов на основе этих структур и анализ их основных характеристик, что может способствовать дальнейшему развитию технологий в области полимерной электроники.

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Образцы полевых транзисторов были созданы на стеклянной подложке с ITO-слоем, который служит затвором (рис.1). Перед нанесением диэлектрических пленок подложка была отожжена при температуре 350 °С. В качестве диэлектрика использовались пленки AlOx толщиной 300 нм, которые формировались методом центрифугирования раствора при 2000 об/мин в течение 30 секунд, а затем

отжигались в печи в течение 1 часа при 350 °С. На диэлектрическом слое были установлены два алюминиевых электрода (сток и исток) толщиной 500 нм. Полупроводниковый материал одного из четырех типов наносился центрифугированием в область между электродами, при этом расстояние между ними составляло 50 мкм, а длина — 2 мм. Были использованы различные углеродные наполнители с СХТЗ, такие как: оксид графена (GO), СВ, СР и одностенные углеродные нанотрубки (SWCNT).

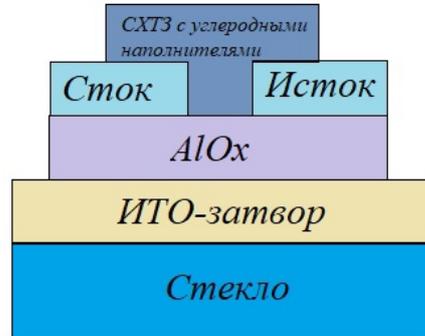


Рисунок 1. Структура экспериментального полевого транзистора

III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что композитные сенсоры на основе СХТЗ и углеродных частиц обладают высокой эффективной площадью поверхности и скоростью переноса электронов, что делает их многообещающими для разработки полевых транзисторов в будущем. Также была проанализирована морфология поверхности пленок, изображения (атомно-силовой микроскопии) АСМ, полученные с помощью Nanoeducator II, представлены на рис. 2.

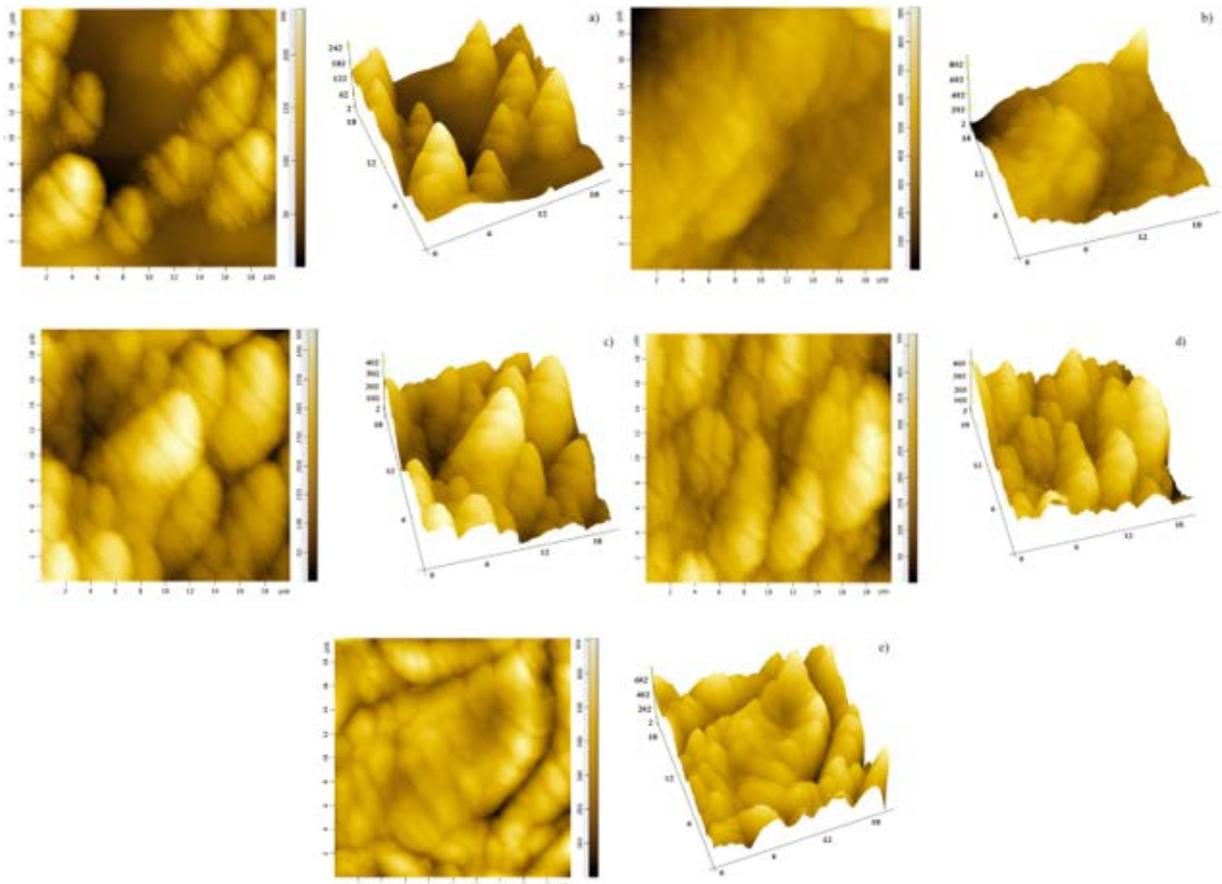


Рисунок 2. АСМ-изображение а) СХТЗ, б) СХТЗ-СР, в) СХТЗ-СВ, г) СХТЗ-GO, е) СХТЗ-SWCNT.
Размеры скана: 20 на 20 мкм

Среднеквадратичная шероховатость поверхности пленок была рассчитана с помощью программы Gwyddion на площади 20 на 20 мкм и представлена в таблице 1 и на диаграмме (рис. 3). Полученные значения шероховатости соответствуют значениям эффективной площади поверхности.

Таблица 1. Значения шероховатости образцов

	20x20 мкм Среднеквадратическая шероховатость (RMS), нм
Образец СХТЗ	44
Образец СХТЗ-СР	63
Образец СХТЗ-СВ	75
Образец СХТЗ-GO	52
Образец СХТЗ-SWCNT	106

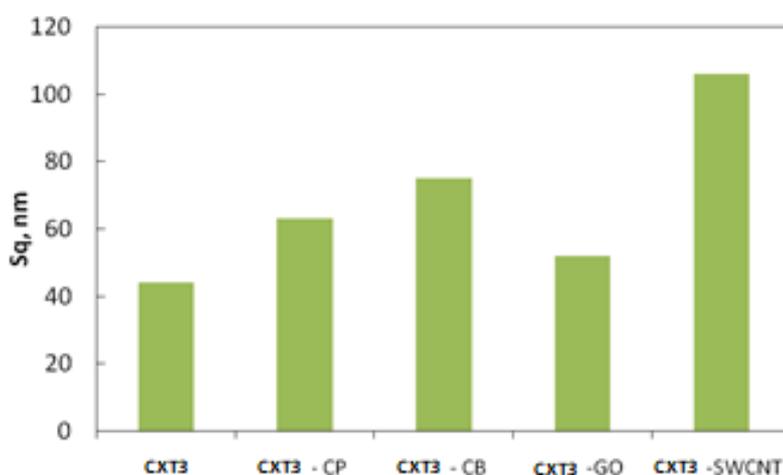


Рисунок 3. Значения шероховатости образцов

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданные композитные и нанокompозитные сенсоры обладают высокой скоростью переноса электронов и значительной эффективной площадью поверхности, что открывает возможности для их применения в разработке высокоэффективных сенсорных платформ. На основе исследованных пленок были изготовлены полевые транзисторы, и проведены измерения их выходных и передаточных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Nanocomposite thin-film structures based on a polyelectrolyte complex of chitosan and chitosan succinamide with swcnt // Letters on Materials. R.B. Salikhov, R.A. Zilberg, E.O. Bulysheva, A.D. Ostaltsova, T.R. Salikhov. 2023. Т. 13, № 2. С. 132-137.
- [2] Effect of the morphology of films of polyaniline derivatives poly-2-[(2e)-1-methyl-2-butene-1-yl]aniline and poly-2-(cyclohex-2-en-1-yl)aniline on sensory sensitivity to humidity and ammonia vapors // Letters on Materials. R.B. Salikhov, I.N. Mullagaliev, B.R. Badretdinov, A.D. Ostaltsova, T.T. Sadykov, A.G. Mustafin. 2022. Т. 12. № 4 (48). С. 309-315.
- [3] Polyaniline derivatives for chemical sensors of ammonia vapor // Chemistry Proceedings. R.B. Salikhov, A.A. Gaskarova, T.R. Salikhov, A.D. Ostaltsova, T.T. Yumalin. 2023. Т. 14. № 1. С. 15.
- [4] Investigation of the morphology of the surface of films // International ICFM-2023. A.D. Ostaltsova, T.R. Salikhov, R.B. Salikhov. 2023. С. 132.
- [5] Nanocomposite thin-film structures and sensors based on THEM // International Conference "Functional Materials" ICFM-2023. Book of abstracts. R.B. Salikhov, A.D. Ostaltsova, T.R. Salikhov 2023. С. 124.

- [6] The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives // Sustain Energy Fuels. A. N. Andriianova, R. B. Salikhov, L.R. Latypova, I. N. Mullagaliev, T. R. Salikhov, A. G. Mustafin. 2022
- [7] Optically controlled field effect transistors based on photochromic spiropyran and fullerene C60 films // Mendeleev Commun, A.R. Tuktarov, R. B. Salikhov, A.A. Khuzin, I.N. Safargalin, I. N. Mullagaliev, O.V. Venidiktova, U. M. Dzhemilev. 2019, C. 160-162.
- [8] Nanocomposite thin film structures based on polyarylenephthalide with SWCNT and graphene oxide fillers // Mendeleev Commun, R.B. Salikhov, R. A. Zilberg, I. N. Mullagaliev, T.R. Salikhov, Y.B. Teres, 2022, № 32, C. 520-522.

FIELD-EFFECT TRANSISTORS BASED ON INNOVATIVE MATERIALS WITH CARBON FILLERS

R.B. Salikhov, A.D. Ostaltsova, D.U. Fakhrislamova

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation, salikhovrb@yandex.ru

Abstract: Modern research in the field of composite materials based on natural polymers opens up new horizons for the creation of biocompatible electronics. Chitosan succinate, due to its unique properties, is becoming increasingly common in the development of sensor devices capable of effectively interacting with the human body. In particular, chitosan-based composite sensors have demonstrated outstanding results in detecting specific enantiomers, which is of significant interest for pharmaceutical diagnostics. An important aspect of working with thin-film structures is the choice of fillers. Graphene oxide and carbon nanotubes not only improve mechanical properties, but also contribute to an increase in the electrical conductivity of composites. Effective integration of such fillers into a chitosan succinamide matrix opens up the possibility of creating more sensitive and stable sensors. Atomic force microscopy played a key role in studying the surface of these thin films, allowing a detailed analysis of their microstructure and interactions between components. The data obtained not only confirmed the potential of using modified biopolymers, but also became the basis for the development of field-effect transistors, which could lead to significant breakthroughs in the field of medical electronics and diagnostics.

Keywords: thin films, chitosan succinamide, field-effect transistor, charge carrier mobility.