

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ГЕКСАЦИАНОФЕРРАТА ЖЕЛЕЗА, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Пирогов Максим Александрович, студент
Рехман Зафар Абдулович, инженер
Голик Алексей Борисович, ассистент
Леонтьев Павел Сергеевич, студент
Артюшин Сергей Викторович, студент
E-mail: Pirogov.m.2002@gmail.com

*ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
г. Ставрополь, РФ*

Аннотация. В рамках данной работы проведено исследование морфологии тонких пленок на основе наночастиц гексацианоферрата железа, стабилизированных различными поверхностно-активными веществами. В качестве поверхностно-активных веществ рассматривались дидецилдиметиламмония хлорид, лауретсульфат натрия, кокамидопропил бетаин и *Tween 80*. Синтез наночастиц гексацианоферрата железа проводился путем смешивания эквимольных растворов прекурсоров в соотношении 1:1 в присутствии 0,3 % ПАВ. Формирование пленки гексацианоферрата никеля проводилось методом осушения. Морфологи пленок гексацианоферрата никеля исследовали методом атомно-силовой микроскопии. В результате получены 3D-изображения поверхности пленок и графики распределения шероховатости. В результате установлено, что пленка гексацианоферрата железа, стабилизированного *Tween 80*, обладает оптимальной морфологией для дальнейших электрохимических исследований в связи с формированием наиболее равномерной пленки гексацианоферрата железа.

Ключевые слова. Гексацианоферрат железа, *Tween 80*, тонкие пленки, сенсор, глюкоза.

В настоящее время разработки в области химических сенсоров являются перспективным направлением исследований в связи с необходимостью использования сенсоров для лабораторных исследований и для персональной диагностики. [1]. Гексацианоферраты *d*-элементов благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам являются перспективными материалами для данного направления [2]. Так, гексацианоферрат железа обладает лучшим электрокаталитическим откликом на пероксид водорода, что позволяет применять его для определения глюкозы посредством измерения концентрации пероксида водорода, выделяемого при взаимодействии глюкозы с ферментом-глюкозооксидазой [3].

В связи с актуальностью гексацианоферрата железа в качестве модификатора для химических сенсоров на различные соединения в данной работе проведено исследование морфологии тонких пленок на основе наночастиц гексацианоферрата железа, стабилизированных различными поверхностно-активными веществами.

На первом этапе исследования был проведен синтез наночастиц гексацианоферрата железа, стабилизированных различными поверхностно-активными веществами: *Tween 80*, дидецилдиметиламмония хлорид, лауретсульфат натрия, кокамидопропил бетаин. Наночастицы гексацианоферрата железа получали путем смешивания 0,01 М растворов сульфата железа и гексацианоферрата калия в соотношении 1:1 в присутствии 0,3 % поверхностно-активных веществ.

На следующем этапе на поверхности токопроводящих стекол были нанесены пленки гексацианоферрата железа, стабилизированного различными ПАВ. Формирование пленок

проводилось путем помещения проводящего стекла в раствор наночастиц гексацианоферрата железа и последующего осушения сосуда с помощью перистальтического насоса со скоростью 10 об/мин.

Морфологию пленок гексацианоферрата железа, стабилизированного различными ПАВ, исследовали на с помощью метода атомно-силовой микроскопии. В результате получены 3D-изображения поверхностей пленок, представленные на рисунке 1, а также распределение шероховатости на поверхности пленки, представленное на рисунке 2.

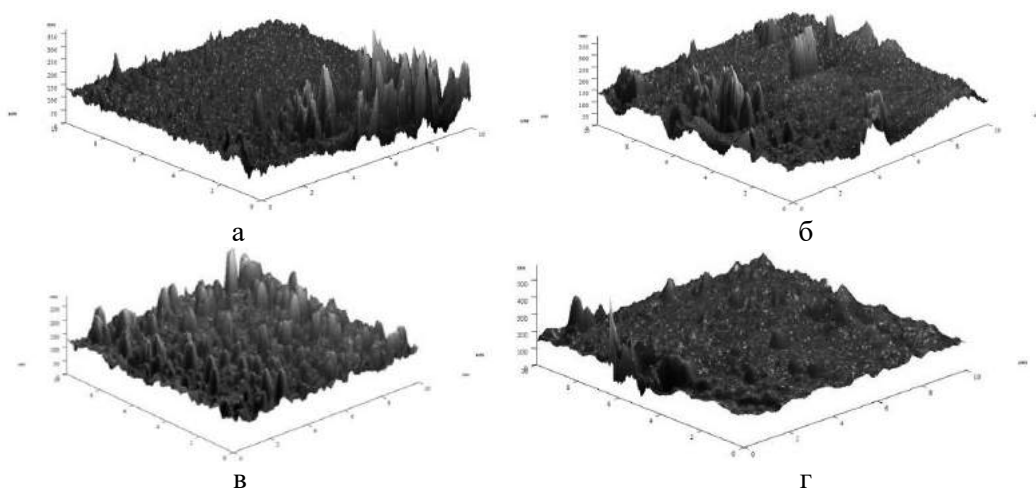


Рис. 1. 3D-изображения поверхности пленки гексацианоферрата никеля, стабилизированного различными ПАВ:
 а – Tween 80; б – дидецилдиметиламмония хлорид; в – лауретсульфат натрия;
 г – кокамидопропил бетаин

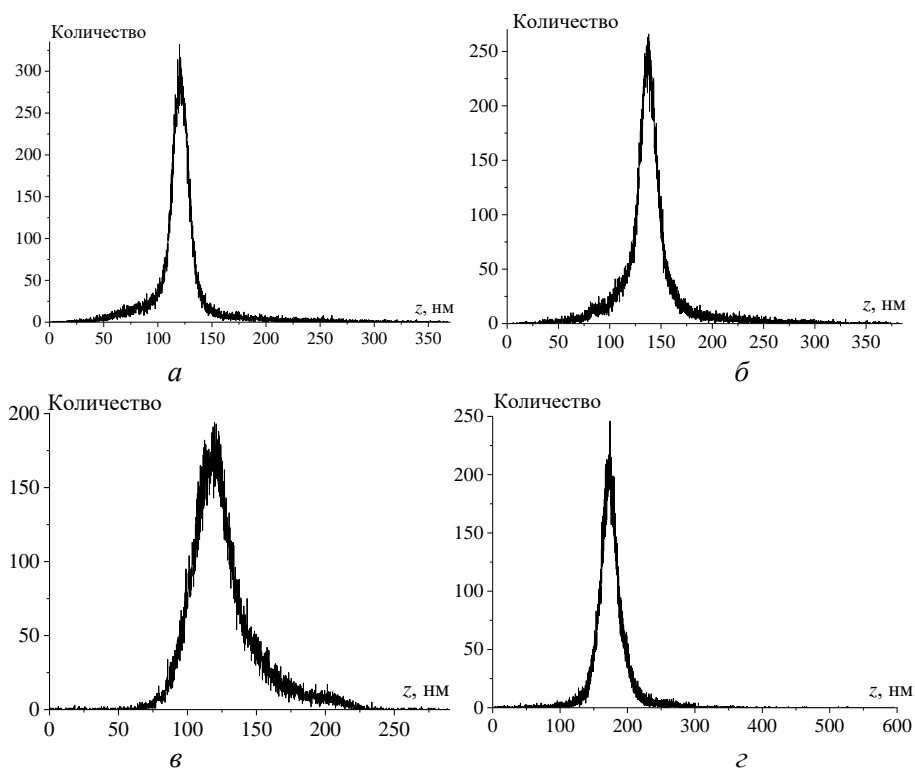


Рис. 2. Распределение шероховатости на поверхности пленки гексацианоферрата никеля, стабилизированного различными ПАВ:
 а – Tween 80; б – дидецилдиметиламмония хлорид; в – лауретсульфат натрия;
 г – кокамидопропил бетаин

В результате анализа полученных изображений и распределений шероховатости установлено, что пленка гексацианоферрата никеля, стабилизированного *Tween 80*, обладает равномерной поверхностью толщиной 120 нм. На поверхности пленки сформировано 61 кристаллит на поверхности со средней площадью – 0,060 мкм² и высотой до 350 нм. Пленка гексацианоферрата никеля, стабилизированного дидецилдиметиламмония хлоридом, представляет собой поверхность толщиной 136 нм с 37 кристаллитами со средней площадью 0,135 мкм² и высотой до 360 нм. Поверхность пленки гексацианоферрата железа, стабилизированного лауретсульфатом натрия, представляет собой 179 кристаллитов со средней площадью 0,97 мкм² и высотой до 290 нм. Пленка гексацианоферрата никеля, стабилизированного кокаמידопропил бетаином, представляет собой поверхность с узким распределением шероховатости до 500 нм со сформированными 11 кристаллитами со средней площадью 0,026 мкм².

Таким образом установлено, что *Tween 80* является оптимальным стабилизатором для формирования тонких пленок, так как пленка гексацианоферрата железа, стабилизированного *Tween 80*, обладает наиболее равномерной поверхностью, что является оптимальным для использования пленки в качестве сенсора на различные соединения. В дальнейшем будет проведено исследование сенсорного отклика на глюкозу и пероксид водорода у пленки гексацианоферрата железа, стабилизированного *Tween 80*.

Исследования проводятся при финансовой поддержке Федерального государственного бюджетного учреждения «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям)», Договор № 17164ГУ/2021 от 16.12.2021.

Библиографический список

1. Михельсон, К. Н. Химические сенсоры на основе ионофоров: достижения и перспективы / К. Н. Михельсон, М. А. Пешкова // Успехи химии. – 2015. – Т. 84. – №. 6. – С. 555–578.
2. Исследование влияния мольного соотношения реагентов на размерные и структурные характеристики наночастиц гексацианоферрата кобальта / А. В. Блинов, И. М. Шевченко, М. А. Пирогов [и др.] // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2022. – № 14. – С. 39–49.
3. Композитные материалы на основе наночастиц Берлинской лазури и полипиррола для создания высокостабильного сенсора на пероксид водорода / Е. В. Золотухина, М. А. Воротынцев, И. С. Безверхий [и др.] // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 444, № 2. – С. 176.