СИНТЕЗ, ХАРАКТЕРИСТИКА И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ SnO_2/NiOДЛЯ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО БЕЗФЕРМЕНТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛЮКОЗЫ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

Султанова Дилдор Бахшиллоевна
Ассистент кафедры" медико-биологическая химия " Бухара, Узбекистан
https :// orcid . org /0009-0003-1239-2347

Аннотация. Сахарный диабет относится к числу наиболее распространенных хронических заболеваний современности и требует постоянного контроля концентрации глюкозы в крови. Большинство коммерческих глюкометров основано на использовании ферментных систем, обладающих высокой чувствительностью, однако ограниченных недостаточной стабильностью при изменении температуры, влажности и кислотности среды. В последние годы значительный интерес исследователей привлекают безферментные электрохимические сенсоры на основе наноструктурированных материалов. В настоящем обзоре рассмотрены особенности синтеза, структурные характеристики и электрохимические свойства нанокомпозитов SnO_2/NiO, применяемых для высокочувствительного определения глюкозы в биологических жидкостях. Показано, что сочетание высокой электропроводности диоксида олова и каталитической активности оксида никеля обеспечивает эффективное окисление глюкозы и быстрый перенос электронов к поверхности электрода. Рассмотрены механизмы электроокисления глюкозы, методы получения композитов, а также перспективы их использования при создании недорогих и долговечных диагностических устройств нового поколения.

Ключевые слова: глюкоза, безферментный сенсор, нанокомпозит, оксид никеля, диоксид олова, электрохимический анализ, биосенсор.

Anotasiya. Qandli diabet bugungi kunda eng keng tarqalgan surunkali kasalliklardan biri bo'lib, qon glyukoza darajasini doimiy ravishda kuzatib borishni talab qiladi. Ko'pgina tijorat glyukometrlari yuqori sezgirlikni ta'minlaydigan, ammo o'zgaruvchan harorat, namlik va pH sharoitida yetarlicha barqarorlik bilan cheklangan ferment tizimlariga asoslangan. So'nggi yillarda nanostrukturali materiallarga asoslangan fermentsiz elektrokimyoviy sensorlar katta ilmiy qiziqish uyg'otdi. Ushbu sharhda biologik suyuqliklarda glyukozani yuqori sezgirlik bilan aniqlash uchun ishlatiladigan SnO_2/NiO nanokompozitlarining sintezi, strukturaviy xususiyatlari va elektrokimyoviy xususiyatlari o'rganiladi. Qalay dioksidining yuqori elektr o'tkazuvchanligi va nikel oksidining katalitik faolligining kombinatsiyasi samarali glyukoza

ISSN 3030-3907

oksidlanishini va elektrod yuzasiga tez elektron o'tkazilishini ta'minlashi ko'rsatilgan. Glyukoza elektrooksidlanishi mexanizmlari, kompozitlarni ishlab chiqarish usullari va ulardan arzon va bardoshli keyingi avlod diagnostika asboblarini yaratishda foydalanish imkoniyatlari muhokama qilinadi.
Kalit so'zlar: glyukoza, fermentsiz sensor, nanokompozit, nikel oksidi, qalay dioksidi, elektrokimyoviy tahlil, biosensor.
Abstract. Diabetes mellitus is one of the most common chronic diseases today and requires continuous monitoring of blood glucose levels. Most commercial glucometers are based on enzyme systems, which offer high sensitivity but are limited by insufficient stability under changing temperature, humidity, and pH conditions. In recent years, enzyme-free electrochemical sensors based on nanostructured materials have attracted considerable research interest. This review examines the synthesis, structural characteristics, and electrochemical properties of SnO_2/NiO nanocomposites used for the highly sensitive determination of glucose in biological fluids. It is shown that the combination of the high electrical conductivity of tin dioxide and the catalytic activity of nickel oxide ensures efficient glucose oxidation and rapid electron transfer to the electrode surface. The mechanisms of glucose electrooxidation, methods for producing the composites, and the potential for their use in the creation of low-cost and durable next-generation diagnostic devices are discussed.
Keywords: glucose, enzyme-free sensor, nanocomposite, nickel oxide, tin dioxide, electrochemical analysis, biosensor.

ВВЕДЕНИЕ.

Сахарный диабет является одним из наиболее серьезных заболеваний XXI века. По данным международных медицинских организаций, количество пациентов с нарушениями углеводного обмена ежегодно увеличивается. Эффективное лечение заболевания невозможно без регулярного контроля концентрации глюкозы в крови.

В настоящее время наиболее распространенными являются электрохимические глюкометры, работа которых основана на использовании ферментов, прежде всего глюкозооксидазы. Несмотря на высокую селективность таких систем, они обладают рядом существенных недостатков. Биологические ферменты чувствительны к температурным колебаниям, изменению кислотности среды, воздействию влаги и имеют ограниченный срок хранения. Это приводит к снижению точности измерений и увеличению стоимости диагностических систем.

ISSN 3030-3907

Альтернативным направлением развития современных биосенсоров является создание безферментных электрохимических датчиков на основе наноструктурированных материалов. Такие системы способны катализировать электроокисление глюкозы без участия биологических компонентов. Особый интерес представляют композиты, объединяющие несколько функциональных материалов, каждый из которых выполняет определенную задачу в процессе регистрации аналитического сигнала.

Среди многочисленных наноматериалов особое внимание привлекают композиции на основе диоксида олова (SnO_2) и оксида никеля (NiO). Благодаря синергетическому взаимодействию компонентов данные материалы демонстрируют высокую каталитическую активность, хорошую электропроводность и значительную химическую стабильность.

Нанокомпозиты SnO_2/NiO являются перспективными материалами для электрохимических сенсоров.

Оксид никеля относится к числу наиболее изученных материалов для безферментного определения глюкозы. Его каталитическая активность обусловлена способностью ионов никеля изменять степень окисления в процессе электрохимических реакций.

Основной каталитический цикл может быть представлен следующим образом:

$$Ni(OH)_2 + OH^- \rightarrow NiOOH + H_2O + e^-$$

Образующийся оксигидроксид никеля является сильным окислителем и способен взаимодействовать с молекулами глюкозы:

$$NiOOH + Glucose \rightarrow Ni(OH)_2 + Gluconolactone$$

В результате происходит окисление глюкозы до глюконолактона с одновременным высвобождением электронов.

Однако применение чистого оксида никеля ограничивается относительно низкой проводимостью материала. Для решения данной проблемы используется диоксид олова — широкозонный полупроводник n-типа, обладающий хорошими транспортными характеристиками и высокой химической устойчивостью.

В композите SnO_2/NiOоксид никеля обеспечивает каталитическое превращение глюкозы, а диоксид олова способствует быстрому переносу электронов к поверхности электрода. Такое разделение функций позволяет значительно увеличить чувствительность сенсора и уменьшить время отклика.

ISSN 3030-3907

Методы для синтеза нанокомпозитов SnO_2/NiO чаще всего применяют гидротермальный метод, который отличается простотой, низкой стоимостью и возможностью масштабирования.

В качестве исходных реагентов используют растворимые соли никеля и олова. Смешивание растворов проводится при постоянном перемешивании, после чего реакционная смесь подвергается гидротермальной обработке при повышенной температуре в течение нескольких часов.

Полученный осадок промывают дистиллированной водой, высушивают и подвергают термической обработке при температуре около 450 °C. В процессе прокаливания происходит образование устойчивой кристаллической структуры композита.

Преимуществами гидротермального метода являются:

- высокая чистота продукта;
- контролируемый размер наночастиц;
- развитая пористая структура;
- возможность регулирования морфологии материала.

Структурные и морфологические характеристики исследования структуры нанокомпозитов проводится с использованием методов электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа.

Сканирующая электронная микроскопия показывает, что материал имеет развитую пористую поверхность, состоящую из агломератов наночастиц различной формы и размеров. Такая структура напоминает трехмерную губку с большим количеством микропор и мезопор.

Развитая поверхность играет важнейшую роль в процессах электрохимического анализа. Чем больше площадь контакта между электродом и анализируемым раствором, тем большее количество молекул глюкозы может одновременно участвовать в реакции окисления.

Рентгенофазовый анализ подтверждает присутствие кристаллических фаз SnO_2 и NiO, а также отсутствие значительных количеств посторонних примесей. Формирование гетеропереходов между оксидами способствует эффективному разделению зарядов и улучшению транспортных характеристик материала.

Механизм безферментного определения глюкозы основан на электрохимическом определении глюкозы на регистрацию тока, возникающего при ее окислении на поверхности модифицированного электрода. Сам процесс включает несколько последовательных стадий:

1. Активация поверхности оксида никеля с образованием $NiOOH$.
2. Адсорбция молекул глюкозы на поверхности композита.
3. Каталитическое окисление глюкозы до глюконолактона.

ISSN 3030-3907

4. Передача высвобожденных электронов через проводящую сеть SnO_2.
5. Регистрация возникающего тока электрохимической системой.

Сила тока прямо пропорциональна концентрации глюкозы в растворе, что позволяет использовать данный сигнал для количественного анализа.

Особенно важным является тот факт, что данный механизм не требует участия ферментов, а значит, не зависит от биологической активности белковых молекул.

В чем заключается электрохимические характеристики сенсоров-одним из основных показателей качества электрохимического датчика является скорость отклика.

Для нанокомпозитов SnO_2/NiOвремя отклика обычно составляет около каких то секунд, что позволяет проводить практически мгновенный анализ биологических образцов.

Другим важным параметром является линейный диапазон измерений. Для большинства современных безферментных сенсоров на основе оксида никеля характерен диапазон концентраций ,относительно, от 1 до 25 ммоль/л, полностью охватывающий физиологические и патологические уровни глюкозы в крови человека.

Высокая чувствительность обусловлена:

- развитой поверхностью нанокомпозита;
- эффективным переносом электронов;
- наличием большого количества каталитически активных центров никеля;
- синергетическим взаимодействием между NiOи SnO_2.

Селективность и стабильность для практического применения ,сенсор должен корректно работать в присутствии различных веществ, содержащихся в крови.

Наиболее распространенными интерферентами являются:

- аскорбиновая кислота;
- мочевая кислота;
- дофамин;
- парацетамол;
- мочевина.

Экспериментальные исследования показывают, что нанокомпозиты SnO_2/NiOобладают высокой селективностью по отношению к глюкозе. Даже при наличии указанных соединений сигнал сенсора практически не изменяется.

Дополнительным преимуществом является высокая долговременная стабильность. В отличие от ферментных систем, оксидные материалы не

ISSN 3030-3907

подвергаются биологической деградации и сохраняют свои свойства в течение длительного времени.

Кроме того, они устойчивы к изменениям температуры, влажности и кислотности среды, что существенно упрощает условия хранения и транспортировки диагностических устройств.

Перспективы клинического применения этого метода заключается в том что, несмотря на значительный прогресс в области безферментных датчиков глюкозы, многие существующие системы демонстрируют высокую эффективность только в сильнощелочных растворах.

Это существенно ограничивает их использование в реальных биологических средах.

Одной из важнейших задач современной электрохимии является разработка материалов, способных эффективно функционировать при физиологическом значении pH около 7,4. Именно в таких условиях работают биологические жидкости организма человека.

Нанокомпозиты SnO_2/NiOрассматриваются как перспективная платформа для решения данной проблемы благодаря сочетанию высокой каталитической активности, биосовместимости и устойчивости в нейтральных средах.

В дальнейшем такие материалы могут стать основой для создания отечественных портативных глюкометров нового поколения, обладающих низкой стоимостью, высокой точностью и практически неограниченным сроком хранения.

Нанокомпозиты на основе диоксида олова и оксида никеля являются перспективными материалами для создания безферментных электрохимических сенсоров глюкозы. Сочетание каталитической активности NiOи высокой проводимости SnO_2обеспечивает эффективное электроокисление глюкозы и быстрый перенос электронов к поверхности электрода.

Развитая пористая структура композита способствует увеличению электроактивной площади поверхности, что положительно влияет на чувствительность сенсора. Материал характеризуется высокой селективностью, быстрым откликом, стабильностью и устойчивостью к воздействию внешних факторов.

Таким образом, дальнейшее совершенствование нанокомпозитов SnO_2/NiOоткрывает широкие перспективы для разработки доступных и долговечных систем мониторинга глюкозы, способных повысить качество диагностики и контроля сахарного диабета.

ISSN 3030-3907

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Махмутов Б.Б., Ким Ю.А. Биосенсоры глюкозы, основанные на реакции её окисления наночастицами Cu, оксидов меди, их сплавов/композитов: краткий обзор. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021;4:17–24. URL: https://applied-research.ru/ru/article/view?id=13198
2. Wang J. Electrochemical Glucose Biosensors. Chemical Reviews. 2008;108(2):814–825. DOI: 10.1021/cr068123a
3. Chen C., Xie Q., Yang D., Wang H., Yuan R. Electrochemical Sensors for Clinic Analysis: Recent Advances in Sensor Fabrication and Application. Biosensors and Bioelectronics. 2018;100:643–661.
4. Rauf S., Shafiq Z., Ali N. NiO-Based Nanostructured Electrodes for Non-Enzymatic Glucose Sensing. Journal of Electroanalytical Chemistry. 2020;872:114309.
5. Li M., Zhuang J., Huang X., et al. SnO_2 Nanomaterials in Electrochemical Glucose Sensors: A Review. Materials Today Chemistry. 2021;20:100430.
6. Zhang J., Song X., Li Q., Xu H. Recent Progress in Non-Enzymatic Electrochemical Glucose Sensors Based on Transition Metal Oxides. Sensors. 2021;21(14):4783.
DOI: 10.3390/s21144783
7. Prasad B.B., Singh A.K., Bahadur K.C. Nanocomposite-Based Electrochemical Glucose Sensors: A Review. Talanta. 2017;165:119–131.
8. Yang L., Zhao G., Luo Y., et al. NiO/SnO_2 Nanocomposite as an Efficient Non-Enzymatic Glucose Sensor. Electrochimica Acta. 2019;320:134627.
9. Bai H., Li C.M. Nanostructured Metal Oxides for Non-Enzymatic Glucose Detection. Journal of Materials Chemistry B. 2020;8:5262–5278.
10. Chen X., Wang X., Liu J., et al. Recent Advances in Non-Enzymatic Glucose Sensors Based on Transition Metal Oxides and Their Composites. Electroanalysis. 2021;33:2105–2121.
11. Liu H., Zhang L., Zhang L., et al. Non-Enzymatic Glucose Sensors Based on NiO Nanostructures: Mechanism and Applications. Journal of Electroanalytical Chemistry. 2019;837:150–159.
12. Wu H., Chen D., Lin H., et al. SnO_2-Based Nanocomposites for Electrochemical Sensing Applications. ACS Applied Nano Materials. 2020;3:5565–5581.
13. Kim J., Jeong H., Choi S., et al. Hierarchical NiO/SnO_2 Nanostructures for High-Performance Non-Enzymatic Glucose Sensing. Sensors and Actuators B: Chemical. 2021;329:129181.

ISSN 3030-3907

14. Zhai T., Sun X., Wang X., et al. Synthesis and Electrochemical Properties of Metal Oxide Nanostructures for Sensing Applications. Chemical Society Reviews. 2020;49:7036–7060.
15. Xu S., Zhang Y., Li Y., et al. Advances in Electrochemical Non-Enzymatic Glucose Sensors Based on NiO/SnO_2 Composites. Frontiers in Chemistry. 2022;10:857349. DOI: 10.3389/fchem.2022.857349

ISSN 3030-3907