

Биосенсоры. Применение оксида титана как связующее звено между анализатором и биоматериалом

Студент группы 10401121 Будилович И.В.

Научный руководитель Астрейко Л.А.

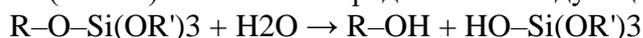
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Нанотехнологии являются важной областью исследований в науке и технологиях, включая биомедицину, энергетику, электронику и окружающую среду. Одним из наиболее перспективных направлений в этой области является использование наночастиц диоксида титана (TiO₂) в биосенсорах.

Биосенсоры - это аналитические устройства, в которых используются биологические компоненты для обнаружения целевых молекул. Они обеспечивают быстрое, точное и чувствительное обнаружение. Наночастицы TiO₂, характеризуются уникальными свойствами: сильное поглощение света, химическая стабильность, высокая биосовместимость и большие удельные поверхности, это важно в разработке биосенсоров.

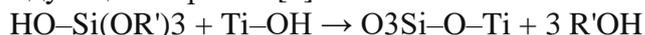
Иммобилизация биомолекул для последующего использования при обнаружении целевой молекулы обычно происходит через химическую модификацию поверхности наночастиц TiO₂. Этот процесс включает несколько этапов.[1]

Гидролиз - это первый этап в процессе иммобилизации молекул на наночастицах TiO₂. В этом процессе группы –OR на модифицирующих молекулах гидролизуются, образуя группы силанола (–SiOH). Это можно представить следующим образом:[2]



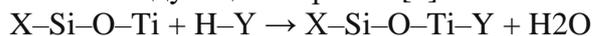
Здесь R и R' представляют различные органические группы. Этот процесс гидролиза является важным, поскольку он позволяет создать группы силанола, которые затем могут конденсироваться с группами –OH на голой поверхности наночастиц TiO₂. Это обеспечивает основу для дальнейшего функционалирования наночастиц и присоединения биомолекул.

Следующим этапом - конденсация. В этом процессе группы силанола, образованные в результате гидролиза, конденсируются с группами –OH на поверхности наночастиц TiO₂. Это приводит к образованию сети силиката вокруг ядра наночастицы TiO₂. Это можно представить следующим образом:[2]



Здесь R' представляет органическую группу. Этот процесс конденсации является важным, поскольку он позволяет создать стабильную сеть силиката вокруг ядра наночастицы TiO₂. Это обеспечивает основу для дальнейшего функционалирования наночастиц и присоединения биомолекул. Этот процесс также обеспечивает химическую стабильность наночастиц, что важно для их использования в биосенсорах.

После конденсации на поверхности наночастиц образуются подходящие функциональные группы. Эти функциональные группы могут быть использованы для дальнейшего функционалирования наночастиц, например, для присоединения биомолекул. Это может быть представлено следующим образом:[2]



Здесь X - функциональная группа на модифицирующей молекуле, а Y - биомолекула, которую нужно присоединить. Процесс позволяет “закрепить” биомолекулы на поверхности наночастиц TiO₂, сохраняя при этом их биологическую активность.

Наночастицы TiO₂ облегчают электронный перенос между ферментом и поверхностью электрода. Это означает, что электроны могут легко передвигаться от фермента к электроду, что важно для работы биосенсора. При поглощении света наночастицами TiO₂ происходит возбуждение электронов, которые переходят из валентной зоны в зону проводимости, оставляя за собой “дыры” в валентной зоне. Это создает пары электрон-дыра, которые могут участвовать в ряде реакций [1].

Например, электроны могут быть захвачены молекулами кислорода, присутствующими в растворе, что приводит к образованию сверхоксидных анион-радикалов. Эти радикалы могут затем участвовать в ряде окислительно-восстановительных реакций, что приводит к образованию водорода и кислорода.

Также, “дыры” в валентной зоне могут окислять воду или гидроксильные ионы, присутствующие на поверхности наночастиц, что приводит к образованию гидроксильных радикалов. Эти радикалы могут участвовать в ряде окислительно-восстановительных реакций [3].

Таким образом, наночастицы TiO₂, облегчают окислительно-восстановительные реакции, которые происходят при взаимодействии биосенсора с целевыми молекулами, способствуя переносу электронов.

Взаимодействие целевой молекулы с биомолекулой, закрепленной на наночастицах TiO₂, вызывает изменение в электронном переносе. Это изменение можно обнаружить и измерить, что позволяет биосенсору “обнаружить” целевую молекулу [3].

Изменение в электронном переносе можно измерить с помощью электрохимических методов. Например, можно измерить изменение в токе или потенциале на электроде.

Таким образом, если известно, что определенная целевая молекула вызывает определенное изменение в электронном переносе, то обнаружение этого изменения может указывать на присутствие этой целевой молекулы.

Наночастицы TiO₂ характеризуются такими свойствами как:[2]

1. Сильное поглощение света;
2. Химическая и механическая стабильность;
3. Хорошая каталитическая способность;
4. Высокая биосовместимость.

В результате проведенного анализа установлено:

1. Процесс иммобилизации позволяет “закрепить” биомолекулы на поверхности наночастиц TiO₂, сохраняя при этом их биологическую активность.
2. Наночастицы TiO₂ облегчают электронный перенос между ферментом и поверхностью электрода.
3. Взаимодействие целевой молекулы с биомолекулой, закрепленной на наночастицах TiO₂, вызывает изменение в электронном переносе. Это изменение можно обнаружить и измерить, что позволяет биосенсору “обнаружить” целевую молекулу.

В фармацевтической промышленности биосенсоры на основе наночастиц TiO₂ могут быть использованы для обнаружения и мониторинга различных биомолекул и химических веществ. В здравоохранении они могут быть использованы для обнаружения биомаркеров болезней, мониторинга уровня глюкозы в крови. В пищевой промышленности они могут быть использованы для обнаружения патогенов, мониторинга качества продуктов. В сельском хозяйстве они могут быть использованы для обнаружения патогенов, мониторинга состояния почвы. В области охраны окружающей среды они могут быть использованы для обнаружения загрязнителей, мониторинга качества воды.

Список использованных источников

1. Эггинс Б. Химические и биологические сенсоры. М.: Техносфера, 2005. - 366 с.
2. Viter, R., Tereshchenko, A., Smyntyna, V., Ogorodniichuk, J., Starodub, N., Yakimova, R., Khranovsky, V., Ramanavicius, A., (2017), Toward development of optical biosensors based on photoluminescence of TiO₂ nanoparticles for the detection of Salmonella, Sensors and actuators. B, Chemical, 252, 95-102. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.05.139>
3. Yu Wu, Jing Feng, Guang Hu, En Zhang, Huan-Huan Yu. Colorimetric Sensors for Chemical and Biological Sensing Applications. Sensors 2023, 23 (5) , 2749. <https://doi.org/10.3390/s23052749>