

СЕНСОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОКСИЧНОСТИ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Деменковец М.О.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Стемпицкий В.Р. – кандидат технических наук, доцент

Нанотехнологии и наноматериалы представляют огромный интерес из-за их уникальной структурной морфологии и выдающихся физико-химических свойств. Наноматериалы открывают новые возможности для разработки новых технологий сенсорики и мониторинга. В то время как наноматериалы имеют многочисленные прикладные применения, а преимущества нанотехнологий широко освещаются, исследуется и их потенциальное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. Наносенсоры можно классифицировать по двум основным категориям: сенсоры, включающие в себя нанотехнологии или датчики с поддержкой нанотехнологий, которые сами по себе являются наноразмерными или имеют наноразмерные материалы, компоненты; и сенсоры которые используются для измерения наноразмерных свойств. Первая категория может в конечном итоге привести к снижению стоимости материалов, снижению веса и энергопотребления. Вторая категория может улучшить понимание потенциальных токсических эффектов появляющихся загрязнителей от наноматериалов, включая фуллерены, дендримеры и углеродные нанотрубки.

1. Наноматериалы и нанотехнологии сенсорных устройств.

Развитие нанотехнологии привело к высокому уровню использования наноматериалов для широкого спектра устройств, также к открытию новых возможностей для создания химических и биосенсорных устройств. Использование наноразмерных материалов, таких как наночастицы, нанопластины, нанотрубки, наностержни, наноремни и наноконпозиты для разработки и создания новых видов сенсорных устройств возрастает.

Благодаря электрическим, магнитным, оптическим свойствам наноматериалов биосенсоры на их основе были разделены на электрохимические, оптические или фотоэлектрохимические, магнитно-механические и поверхностно-плазмонные резонансные усиленные типы сенсорных устройств и т.д. Их размеры находятся в том же масштабе, что и биомолекулы, что открывает новые возможности для взаимодействия с биологическими видами, такими как микроорганизмы, ткани, клетки, антитела, ДНК и другие белки. Были опубликованы обширные исследовательские работы и обзоры с использованием наноматериалов для электрохимических биоанализов, что демонстрирует растущую заинтересованность в данном направлении. Наноматериалы использовались для построения ферментных датчиков, иммуносенсоров и геносенсоров для достижения прямой проводки ферментов и относительных компонентов к поверхности электрода, для стимулирования спектроэлектрохимической реакции, и для усиления сигнала биораспознавания.

2. Обнаружение наночастиц металлов и оксидов металлов.

Наночастицы серебра (AgNPs). AgNPs известны своей антимикробной активностью, и по этой причине они были использованы в очистке воды и других приложениях, таких как детские пустышки и контейнеры для хранения пищевых продуктов. Их бактерицидная активность зависит от формы и размера, а частицы размером менее 100 нм проявляют оптимальную антибактериальную активность. Несмотря на эти полезные применения, наночастицы серебра токсичны.

Существует множество превосходных химических датчиков для распознавания ионов серебра, включая ионоселективные электроды, оптоды и флуоресцентные датчики. Однако ни один из данных датчиков не применялся для обнаружения именно наночастиц серебра.

Оптимальный метод обнаружения наночастиц серебра была опубликована ученым A. Chatterjee et al. [1] под названием 'селективный флуорогенный и хромогенный датчик для обнаружения ионов серебра и наночастиц серебра в водных средах'. Химический состав их сенсора был основан на производном родамина B1 в качестве флуорогенного и хромогенного зонда для Ag⁺ / AgNPs в водных средах (рис. 1).

Наночастицы золота (AuNPs). Удалось обнаружить AuNPs с помощью метода поверхностного плазмонного резонанса. Плазмонные резонансы в металлических наночастицах обусловлены коллективными колебаниями электронов проводимости относительно их матрицы. Такие резонансы играют центральную роль в оптических свойствах металлических наночастиц и поэтому полезны при обнаружении металлических наночастиц, таких как наночастицы серебра. K. Lindfors и др. [2] сообщили об обнаружении и спектроскопии наночастиц золота с использованием конфокальной микроскопии сверхнепрерывности белого света. В данной работе образец был просвечен сверхнепрерывным лазерным излучением, генерируемым в фотонно-кристаллическом волокне через каскад нелинейных эффектов, которые дали начало спектру, простирающемуся от видимого до ближнего инфракрасного диапазона. Используя этот метод, эти ученые смогли обнаружить единственную частицу золота с номинальным диаметром D $\frac{1}{4}$ 5 нм. Это было первое обнаружение отдельных наночастиц золота ниже 10 нм с использованием полностью оптического метода.

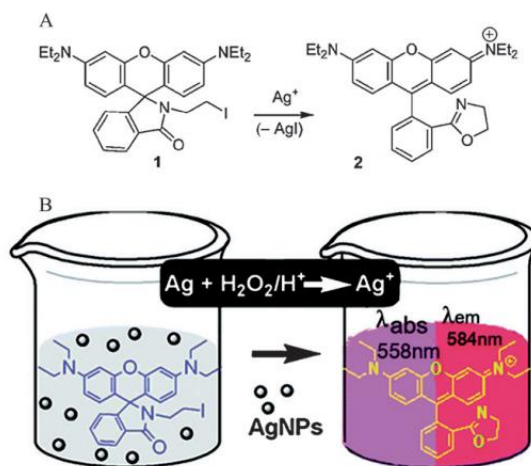


Рисунок 1 – (А): Ионы серебра стимулируют работу датчика; (В): Схематическое изображение сенсорного механизма, стимулируемого координацией ионов серебра к йодиду зонда

Еще одним оптическим методом обнаружения AuNPs является фототермическое обнаружение золотых наночаеек с использованием фазочувствительной оптической когерентной томографии, как сообщили D. C. Adler et al. [3] это метод биомедицинской визуализации высокого разрешения, который позволяет получать поперечные и трехмерные изображения микроструктуры тканей путем интерферометрического измерения амплитуды и временной задержки обратного рассеяния света. Как правило, при низких температурных градиентах этот метод подходит для использования “in vivo”, то есть при нормальных условиях, и представляет собой новый метод обнаружения AuNP с отличными характеристиками сигнал-шум на высоких скоростях.

В дополнении, для измерения динамической секреции химических молекул-мессенджеров из клеток, подвергшихся воздействию наночастиц, применяется микроэлектродная амперометрия углеродного волокна. Этот метод облегчает обнаружение специфической молекулярной мишени на основе приложенного потенциала, субмиллисекундного временного разрешения и количественного определения эндогенных концентраций химических мессенджеров, высвобождаемых при экзоцитозе. В присутствии AuNPs для характеристики серотонинового экзоцитоза из тучных клеток брюшины мышей, культивируемых совместно с фибробластами, была использована углеродная микроэлектродная амперометрия, и полученные результаты позволяют предположить, что наночастицы нарушают плотоядерную биополимерную межклеточную матрицу и представляют потенциал для систематических исследований, показывающих, как экзоцитотическая функция зависит от размера, формы и состава наночастиц.

Наночастицы оксида металла. Металлические наночастицы, такие как ZnO, TiO₂, CeO₂, ZnO и TiO₂, уже много лет используются в качестве солнцезащитных средств из-за их способности фильтровать UVA- и UVB- излучения, обеспечивая более широкую защиту, чем другие солнцезащитные средства. Эти материалы широко используются, хотя теоретически они были помечены как потенциально токсичные. Биосенсор для обнаружения наночастиц золота также может использоваться для обнаружения наночастиц оксидов металлов (ZnO, или Fe₃O₄). Другие же методы для обнаружения наночастиц оксидов металлов – это традиционная характеристика наноматериалов. Например, K. M. Tyner et al. [4] сравнили до 20 существующих традиционных методов обнаружения и характеристики наночастиц оксида металла в немодифицированных коммерческих солнечных протекторах. Их результаты показали, что только сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) с переменным давлением, сканирующая атомно-силовая микроскопия, лазерная сканирующая конфокальная микроскопия и рентгеновская дифракция оказались жизнеспособными комплементарными методами обнаружения и характеристики наночастиц в солнечных протекторах. Однако ни один из этих методов не был использован для полного выявления и характеристики наноматериалов без дополнительных методов.

Закключение. Мы попытались обобщить и понять область наномониторинга и нанотоксикологии, включая проблемы мониторинга наноматериалов, возможности сочетания существующих аналитических методов с традиционными методами токсичности. Экологический мониторинг наночастиц – это важная область исследований, и она в значительной степени выиграет от новых подходов к обнаружению присутствия и характеристике свойств наноматериалов.

Список использованных источников:

1. A. Chatterjee, M. Santra, N. Won, S. Kim, J. K. Kim, S. B. Kim and K. H. Ahn, *J. Am. Chem. Soc.*, 2009, 131, 2040–2041.
2. K. Lindfors, T. Kalkbrenner, P. Stoller and V. Sandoghdar, *Phys. Rev. Lett.*, 2004, 93.
3. D. C. Adler, S. W. Huang, R. Huber and J. G. Fujimoto, *Opt. Express*, 2008, 16, 4376–4393.
4. K. M. Tyner, A. M. Wokovich, W. H. Doub, L. F. Buhse, L. P. Sung, S. S. Watson and N. Sadrieh, *Nanomedicine*, 2009, 4, 145–159.