

Федеральная целевая программа

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»

Индустрия наносистем

Тема: «Разработка новых оптических сенсоров: от хемосенсорных полупроводниковых гибридов до оптических устройств»

Соглашение №14.616.21.0037
на период 2015 - 2017 гг.

Руководитель проекта: заведующая лабораторией
Федорова Ольга Анатольевна

Получатель субсидии: ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ИМ. А.Н. НЕСМЕЯНОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Цели и задачи проекта

Целью настоящей работы является создание наноразмерных гетероструктур на основе полупроводниковых оксидов металла. Заявляемый новый материал, формируемый введением оптически активных элементов - сенсibilизаторов на поверхность наноразмерных полупроводниковых частиц, представляет интерес для создания оптической среды с перспективными характеристиками и функциональностью и откроет возможности для разработки новых поколений элементной базы оптоэлектроники и нанофотоники. На основе полученного сенсibilизированного нанокристаллического полупроводника будет проведена разработка новых принципов селективного детектирования опасных продуктов в воздухе при комнатной температуре в условиях светового облучения, а также продемонстрирован потенциал данного типа структур в качестве сенсорных компонент оптодов для анализа водных растворов.

Существует большое количество задач в области экологического и санитарно-гигиенического контроля, медицинской диагностики, борьбы с терроризмом, наркобизнесом и других, подразумевающих обнаружение и распознавание крайне низких (следовых) количеств летучих веществ и газов в воздухе в присутствии высоких концентраций других компонентов. Детектирование столь малых количеств веществ возможно только с использованием газовых детекторов. Основными недостатками существующих в настоящее время полупроводниковых сенсоров являются их низкая селективность и сравнительно высокие рабочие температуры 200 – 500 °С, что не позволяет использовать их в миниатюрных и автономных газовых детекторах для селективного определения токсичных веществ на уровне ПДК жилой зоны. Технологии получения химически модифицированных нанокристаллических полупроводниковых оксидов металлов откроют путь к новым материалам для решения задач, связанных с разработкой селективных газовых детекторов, работающих при комнатной температуре, а также расширят область применения таких сенсоров для решения задач получения катионных сенсоров нового типа.

Ожидаемые результаты проекта

Настоящий проект предполагает разработать методы получения 2-х новых типов композитов на основе нанокристаллических полупроводниковых оксидов. Первый тип включает в себя с одной стороны, металлоорганические центры, обеспечивающие селективную чувствительность к молекулам газов-окислителей (NO_2) и восстановителей (NH_3 , H_2S , CO , летучих органических соединений, в том числе спиртов, альдегидов, кетонов), и, с другой стороны, фоточувствительные органические компоненты, обеспечивающие чувствительность материала к излучению видимого диапазона спектра. Это позволит решить одну из актуальных задач – получение селективных газовых сенсоров, работающих при комнатной температуре.

Во втором типе сенсорных структур наночастицы будут использованы в качестве платформы, на которой будут расположены флуоресцентные сенсоры на катионы металлов, молекул ДНК. Для данного типа сенсорного материала ожидается усиление флуоресцентного отклика и увеличения субстрат-связывающих свойств за счет кооперативного эффекта флуорофоров на поверхности наноматериалов. Такой тип материала будет испытан в качестве компонент оптодов для проведения оптического анализа водных растворов солей или биомолекул.

Перспективы практического использования

Разрабатываемые материалы имеют перспективы применения при

- создании селективных газовых сенсоров с низким энергопотреблением, обеспечивающих измерение электрического отклика при комнатной температуре в условиях светового облучения маломощным диодом;
- создании линейки сенсоров для анализа солей металлов для использования в оптоволоконных анализаторах;
- создании флуоресцентных сенсоров для детекции ДНК при проведении биохимических анализов.

Данные экспериментальных исследований, разработанные на их основе методы получения химически модифицированных нанокристаллических полупроводниковых материалов для селективных газовых и катионных сенсоров и рекомендации по использованию результатов проведенных НИР могут быть использованы при постановке ОКР в организациях МЧС и ФМБА РФ. К разработкам данного проекта проявили интерес для внедрения компания МедЭкоТест (фотометрический анализ солей металлов, Россия) и эксперт в газовом анализе компания Airmotec (Chromatotec group, France).

Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.

На данном этапе выполнения работ проведен анализ научной литературы по двум направлениям.

По первому направлению была проанализирована литература по строению, свойствам наночастиц на основе оксидов олова и цинка. Особое внимание уделено вопросу взаимодействия света с данными типами наночастиц. Выяснено, что облучение светом может быть использовано для сенсibilизации проводимости наночастиц. При действии на полупроводник излучения с энергией кванта, не меньшей ширины запрещенной зоны (для SnO_2 и ZnO эта энергия находится в ближнем УФ-диапазоне), свет оказывает значительное влияние на фотопроводимость по сравнению с менее энергетическим излучением. К настоящему моменту известно лишь несколько работ по выявлению механизма фотопроводимости полупроводниковых оксидов при облучении в видимой области.

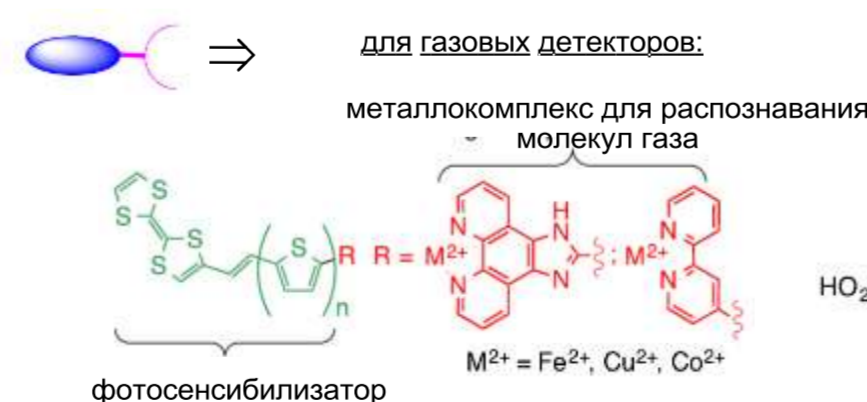
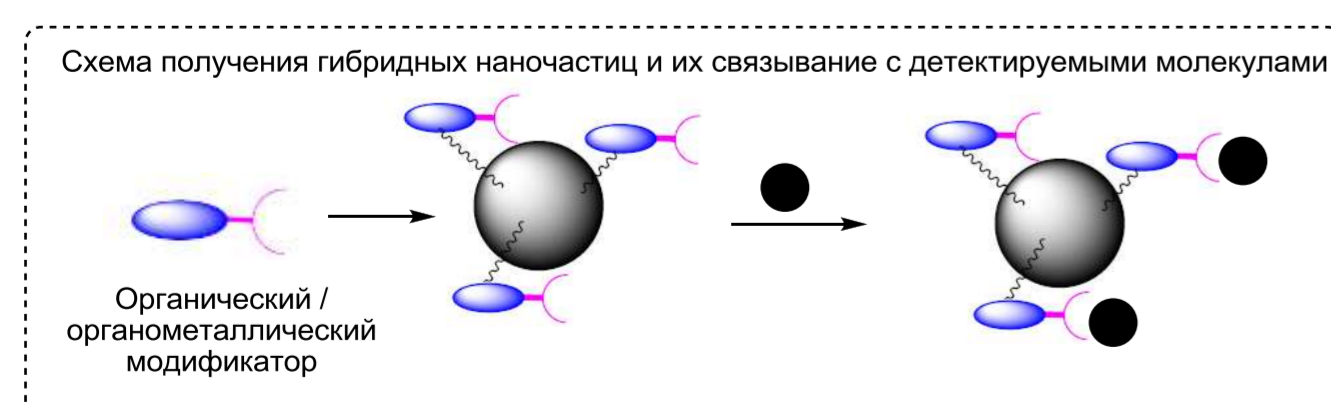
Еще одной мало изученной областью является изучение влияния органических сенсibilизаторов на проводимость и сенсорную активность оксидов олова и цинка. Несмотря на то, что процесс фотосенсibilизации весьма активно изучается с целью получения материалов элементов солнечных батарей, применительно к разработке газовых сенсоров роль фотосенсibilизации мало изучена. Таким образом, данное направление в настоящее время недостаточно разработано, однако, экспериментальные исследования в этой области позволят получить перспективные практические результаты по получению газовых сенсоров на основе оксида олова или цинка, работающих при комнатной температуре в условиях облучения видимым светом.

Второе направление литературного поиска позволило выявить перспективные органические флуорофоры для получения на их основе флуоресцентных сенсоров. Для катионного анализа предложено использовать производные нафталимида. Они обладают яркими флуоресцентными характеристиками, хорошо разработанной синтетической базой, доступными для проведения синтеза отечественными реактивами. Известен лишь один пример иммобилизации нафталимида на поверхности наночастиц с сохранением комплексообразующих и флуоресцентных характеристик. Данный подход будет разрабатываться в рамках проекта для перехода от молекулярного флуоресцентного сенсора к наноструктурированному сенсорному материалу.

Для флуоресцентной детекции биоорганических молекул предлагается разработка стиримовых производных. Они показали высокую аффинность к молекулам ДНК, а также низкую токсичность.

Предполагается использование таких молекул в качестве модификаторов наночастиц.

Предполагаемая схема получения гибридных материалов, а также примеры выбранных для синтеза органических и металлоорганических модификаторов представлены на схеме ниже.



Партнеры проекта

В проекте участвуют две исследовательские группы из Франции и Германии:

партнер 1 – Laboratoire Ondes et Matière d'Aquitaine, Bordeaux 1 University, UMR CNRS 5798 (фотофизические исследования фотоактивных органических модификаторов, получение наночастиц); **партнер 2** -

Organic Chemistry II, University of Siegen (разработка синтеза органических флуоресцентных модификаторов с высокой аффинностью к ДНК).

Финансирование Европейских партнеров осуществляется по программе ERA.NET (European Union's Seventh Framework Programme).