

Резюме проекта, выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно- технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»
по этапу № 2

Номер Соглашения Электронного бюджета: 075-02-2018-919/1,
Внутренний номер соглашения 14.613.21.0075

Тема: «Разработка высокочувствительных полупроводниковых газовых сенсоров с низким энергопотреблением для селективного детектирования летучих органических соединений (VOCs)»

Приоритетное направление: Индустрия наносистем (ИН)

Критическая технология: Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии

Период выполнения: 22.11.2017 - 31.12.2019

Плановое финансирование проекта: 30.00 млн. руб.

Бюджетные средства 15.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 15.00 млн. руб.

Получатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова"

Иностраный партнер: Университет Ханьянг

Ключевые слова: Нанокристаллические материалы, полупроводники, газовые сенсоры, селективность, чувствительность, энергопотребление, фотокатализатор, искусственные нейронные сети

1. Цель проекта

Целью данного проекта является:

- Разработка и апробация сенсорных материалов нового поколения на основе нанокристаллических полупроводниковых оксидов металлов и иммобилизованных на их поверхности фотокатализаторов для решения проблемы повышения чувствительности, селективности и снижения энергопотребления мультисенсорных систем для детектирования токсичных летучих органических веществ (volatile organic compounds, VOCs) в воздухе рабочей зоны и жилых помещениях;
- Разработка математических, нейросетевых подходов к анализу сенсорных данных, обеспечивающие более высокую чувствительность и селективность определения газов, при сохранении высокого быстродействия сенсорного анализа;
- Создание принципиально новой научно-технической продукции в области газовых сенсоров, в которой реализуется новый принцип детектирования газов в условиях подсветки маломощным источником УФ или видимого диапазона спектра.

2. Основные результаты проекта

В ходе 2 этапа выполнения проекта для наноконкомпозитов на основе полупроводниковых оксидов, обладающих фотокаталитическими свойствами (SnO_2 , In_2O_3 , ZnO , TiO_2), функционализированных кластерами металлов Pt группы, синтезированных на 1 этапе выполнения проекта:

1. Определен состав методом рентгенофлуоресцентного анализа;

2. Определено электронное состояние элементов методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии;
3. Исследованы электрофизические свойства с привлечением измерений электропроводности на постоянном токе и спектроскопии импеданса, в темновых условиях и при облучении светом УФ и видимого диапазона спектра;
4. Определена работа выхода электрона в нанокompозитах методом зонда Кельвина;
5. Исследованы сенсорные свойства нанокompозитов при детектировании бензола, формальдегида, в диапазоне концентраций 0.5-10 ПДК рабочей зоны в газовых смесях, содержащих этанол, ацетон, CO, NO₂ в диапазоне концентраций 0.5-10 ПДК рабочей зоны при постоянной температуре и в динамическом температурном режиме, а также при облучении светом УФ и видимого диапазона спектра.

Полученные в ходе проекта новые материалы - нанокompозиты на основе полупроводниковых оксидов, обладающих фотокаталитическими свойствами (SnO₂, In₂O₃, ZnO, TiO₂), функционализированных кластерами металлов Pt группы, продемонстрировали исключительно высокую чувствительность при детектировании формальдегида в воздухе, что позволяет провести его обнаружение вплоть до 60 ppb (0.074 мг/м³), что соответствует 0.1 ПДК рабочей зоны и пороговому значению в воздухе внутри помещений. По чувствительности к формальдегиду полученные материалы опережают мировой уровень.

Использование подсветки УФ или видимого диапазона спектра позволило снизить оптимальную температуру детектирования на 100 С. Тестирование сенсорных свойств в динамическом режиме позволило получить набор первичных данных, пригодных для обучения нейросетевой системы и разработки алгоритма для анализа газовых смесей.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

На 1 и 2 этапах выполнения проекта получение охраноспособных РИД не предусмотрено.

4. Назначение и область применения результатов проекта

Настоящий проект направлен на реализацию нового принципа детектирования летучих органических соединений в атмосфере посредством газовых сенсоров резистивного типа, работающих в условиях минимального термического нагрева, совмещенного с подсветкой маломощным источником УФ или видимого диапазона спектра. Решение этой задачи становится возможным при использовании в качестве сенсорных материалов нанокompозитов на основе нанокристаллических полупроводниковых оксидов и фотокатализаторов, обеспечивающих низкотемпературное фотокаталитическое разложение/окисление молекул целевых газов на поверхности полупроводникового оксида. Создание новых материалов, обладающих газовой чувствительностью в условиях минимального термического нагрева, является ключевым направлением в разработке технологии газовых сенсоров и мультисенсорных систем. Это отвечает решению приоритетной научной задачи "Исследование, разработка и создание новых поколений систем, приборов, устройств и их компонентов на базе технологий нано- и микросистемной техники" (Перечень приоритетных научных задач, сформулированный Правительством России, опубликован 08.02.2014). Задача направлена на достижение принципиально нового функционального качества технических систем, в частности, за счет обеспечения радикального снижения энергопотребления. Основным ожидаемым результатом является создание сенсорных систем нового поколения, работающих в условиях минимального энергопотребления, для мониторинга жизнедеятельности, окружающей среды, химико-технологических процессов.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Разработка новых чувствительных материалов и подходов к детектированию сенсорного сигнала в рамках проекта является актуальной для мониторинга воздуха и обнаружения токсичных летучих органических соединений – бензола и формальдегида. Реализация проекта предоставит дополнительные возможности для более широкого внедрения технологий экологического мониторинга в повседневной жизни. В этой области социально-экономический эффект проекта ожидается за счет повышения безопасности (в том числе жилых и производственных помещений) путем тщательного контроля токсичных компонентов воздуха и предотвращения их накопления в опасных концентрациях. Сотрудничество российских и корейских исследовательских групп, дополняющих друг друга в области научной и технологической компетенции, позволит создать новую высокотехнологичную наукоемкую продукцию с высокой добавленной стоимостью и ожидаемым значительным вкладом в экономику Кореи и России.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

На внутреннем рынке востребованными являются, в основном, газовые детекторы для обеспечения личной безопасности персонала производств, а также безопасности технологических процессов, связанных с горючими и взрывоопасными объектами. Доминирующими являются продукты иностранных компаний Draeger (Германия), MSA (США), Honeywell (США). Из отечественных производителей востребованными являются приборы серии АНКАТ производства ФГУП "СПО "Аналитприбор", однако ключевым их недостатком является меньшая надежность в эксплуатации, по сравнению зарубежными аналогами. Все эти приборы за редким исключением используют зарубежную сенсорную базу. Полученные в ходе выполнения проекта результаты будут непосредственно способствовать повышению надежности полупроводниковых сенсоров и мультисенсорных систем за счет значительного увеличения чувствительности, селективности и стабильности сенсорных элементов, и снижения отклика на помехи (например, переменную влажность) за счет применения динамического температурного режима измерений в сочетании с использованием светового облучения.

Возможные потребители ожидаемых результатов

Результаты работы будут внедрены при производстве газовых детекторов на российских предприятиях, выпускающих газоаналитическое оборудование: ООО «НТЦ Газоаналитические системы» (г. Москва), НПО «Аналитприбор» (г. Смоленск).

7. Наличие соисполнителей

Участие российских соисполнителей в проведении работ по проекту не предусмотрено. В качестве Иностранного партнера проекта выступает Университет Ханьянг, г. Сеул, Республика Корея.