

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии № 14.578.21.0199 от 29 сентября 2016 г. по теме «Химические и оптические нанокompозитные сенсоры на основе бинарных металлоксидных материалов» с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014- 2020 годы» на этапе №2 по теме «Экспериментальные и теоретические исследования поставленных перед ПНИЭР задач» в период с 01.01.2017 г. по 31.12.2017 выполнялись следующие работы:

1. Исследование морфологических характеристик сенсорных материалов на основе оксида индия с оксидами цинка, церия и олова.
2. Исследование проводимости и сенсорных свойств сенсорных материалов на основе оксида индия с оксидами цинка, церия и олова.
3. Разработка математической модели сенсорного отклика в наноструктурированных полупроводниковых оксидах.
4. Разработка математической модели распределения электронов в наноструктурированных полупроводниковых оксидах.
5. Разработка физической модели поглощения и рассеяния электромагнитного излучения на наночастицах In_2O_3 .
6. Расчет сечений поглощения и рассеяния излучения полупроводниковыми наночастицами различных радиусов, помещенными в различные среды
7. Выяснение возможности и формулировка условий использования наночастиц In_2O_3 в качестве оптических плазмонных сенсоров.
8. Изготовление образцов сенсорных материалов на основе оксида индия с оксидами цинка, церия и олова по разработанной лабораторной методике.
9. Разработка лабораторной методики определения свойств сенсорных материалов при детектировании различных концентраций анализируемых газов в широком диапазоне температур.

Основными полученными результатами за этап № 2 являются:

1. Силами индустриального партнера по разработанной на первом этапе работы лабораторной методике изготовлены образцы сенсорных материалов на основе оксида индия с оксидами цинка, церия и олова для исследования их морфологических характеристик, а также проводимости и сенсорных свойств.

2. Современными методами анализа, включающими просвечивающую электронную микроскопию (ПЭМ), рентгеновскую дифракцию, спектроскопию комбинационного рассеяния (КР), рентгеновскую фотоэлектронную спектроскопию (РФЭС) исследованы морфологические характеристики наноструктурированных бинарных металлоксидных сенсорных материалов на основе оксида индия с оксидами цинка, церия и олова, полученных стандартным методом трафаретной печати с использованием коммерческих нанопорошков оксидов, а также методом импрегнирования. Показано, что в отличие от материалов, полученных стандартным методом, наноструктурированные бинарные композиты, полученные методом импрегнирования, содержат малые кластеры ZnO, CeO₂ или SnO₂ размером от 3 до 10 нм, расположенные на поверхности нанокристаллов In₂O₃. Установлено, что нанокластеры ZnO, CeO₂ или SnO₂, осажденные на поверхность матрицы In₂O₃, не влияют на ее структуру.

3. Силами индустриального партнера разработана и утверждена лабораторная методика определения свойств сенсорных материалов при детектировании различных концентраций анализируемых газов в широком диапазоне температур.

4. По разработанной лабораторной методике исследованы проводимость и сенсорные свойства наноструктурированных бинарных композитов различного состава. Установлено, что добавление уже небольших количеств оксидов цинка, церия и олова к In₂O₃ приводит к уменьшению проводимости бинарных металлоксидных пленок. Этот эффект выражен в значительно большей степени для импрегнированных образцов, в

которых размер нанесенных на поверхность In_2O_3 кластеров второго оксида значительно меньше, чем в образцах, полученных стандартным методом. Показано также, что метод импрегнирования приводит к получению более эффективных сенсоров по сравнению с образцами, полученными стандартным методом. Метод импрегнирования приводит к снижению рабочей температуры, при которой наблюдается максимальный сенсорный эффект, приблизительно на $140\text{ }^\circ\text{C}$, что очень важно для практического применения таких сенсоров.

5. Разработана физическая модель поглощения и рассеяния электромагнитного излучения на наночастицах In_2O_3 . Модель построена в рамках теории Ми, а также в дипольном приближении. Установлены границы применимости дипольного приближения.

6. Проведены расчеты сечений поглощения и рассеяния излучения полупроводниковыми наночастицами различных радиусов, помещенными в различные среды. Расчеты проводились согласно разработанной физической модели в рамках теории Ми и в дипольном приближении. Результаты обоих подходов совпадают с экспериментальными данными в области плазмонного резонанса и представляют собой кривые с максимумом.

7. Сформулированы условия использования наночастиц In_2O_3 в качестве оптических плазмонных сенсоров. При увеличении легирования наночастиц In_2O_3 оловом приводит к улучшению оптических сенсорных свойств. Заметно увеличивается сечение фотопоглощения электромагнитного излучения наночастицами In_2O_3 в максимуме. Рост легирования также приводит к смещению плазмонного резонанса в коротковолновую область.

Полученные результаты за этап №2 будут использованы для следующих этапов выполнения ПНИЭР.

На этапе № 2 индустриальный партнер ООО «ИСЛ и Метрология» потратил собственные средства в размере 15 млн. рублей на выполнение работ по Плану-графику проекта.

Полученные результаты соответствуют требованиям технического задания и календарного плана.