

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Гхариб Дины Али Ахмед

### «Электрофизические и сенсорные свойства полупроводниковых пленок PdO для селективного детектирования озона»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. – Физика полупроводников.

Диссертация Гхариб Дины Али Ахмед посвящена исследованию особенностей электрофизических и сенсорных свойств тонких пленок PdO различной толщины и оптимизации технологии изготовления сенсоров на основе PdO для обеспечения возможности детектирования озона ниже уровня ПДК и повышения их селективности. Озон используется в технологических целях, в частности, для обеззараживания воды, но при этом является токсичным газом с низкой предельно допустимой концентрацией. Это определяет необходимость непрерывного контроля содержания озона в воздухе в местах его получения и использования. В настоящее время эта задача решается с помощью приборов, принцип действия которых основан на УФ абсорбционной фотометрии. Альтернативой являются приборы на основе полупроводниковых сенсоров резистивного типа. К преимуществам подобных сенсоров относятся низкая стоимость, высокая чувствительность, малый нижний предел обнаружения газов, широкий спектр детектируемых компонентов, миниатюрность и малое энергопотребление, возможность интеграции в современные информационные сети.

Наиболее распространенными материалами для резистивных газовых сенсоров являются полупроводниковые оксиды *n*-типа проводимости  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ , как индивидуальные, так и с различными добавками. Полупроводниковые оксиды *p*-типа  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{CuO}$ , в целом, характеризуются меньшей чувствительностью, но имеют ряд преимуществ, среди которых можно отметить более низкие рабочие температуры и меньшую чувствительность к переменной влажности воздуха. В работе Д.А.А. Гхариб был исследован новый чувствительный материал *p*-типа проводимости – оксид палладия PdO. Оксидные полупроводники *p*-типа, не исследовались ранее как чувствительные материалы для детектирования озона.

В качестве объектов исследования в диссертационной работе были выбраны тонкие пленки PdO различной толщины, полученные путем напыления металлического Pd с последующим его окислением на воздухе при различных температурах; толстые пленки PdO, полученные путем термического разложения  $\text{Pd}(\text{NO}_3)_2$ , размельчения полученного PdO, приготовления спиртовой суспензии, нанесения на подложки и термической обработке полученных слоев; толстые пленки PdO с добавками аэрогеля  $\text{SiO}_2$ . Образцы охарактеризованы методами электронной микроскопии, рентгеновской дифракции, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), оптической спектроскопии. Исследования сенсорных свойств проведены в условиях стационарной температуры и в режиме модуляции температуры.

В результате выполненных в диссертационной работе исследований определена оптимальная температура окислительного отжига пленок Pd, которая обеспечивает формирование однофазных пленок PdO и не приводит к критической фрагментации пленок, являющейся причиной возникновения шумов электропроводности; определена оптимальная толщина пленок PdO для детектирования озона в широком диапазоне концентраций; установлена оптимальная температура для работы в стационарном режиме; выявлены специфические особенности формы резистивного отклика сенсоров PdO в режиме модуляции температуры, что позволяет повысить селективность сенсоров PdO при анализе озона.

Большинство экспериментальных данных, представленных в диссертации, получены впервые. Результаты работы полностью отражены в научных статьях и докладах на конференциях. Полученные результаты имеют несомненную фундаментальную и практическую значимость. Сделанные автором выводы обоснованы и не вызывают сомнений. Результаты работы опубликованы в рецензируемых российских и международных научных журналах.

В качестве замечаний необходимо отметить следующее:

1. В автореферате не указано, каким методом определяли толщину слоев палладия, и менялась ли толщина пленок при окислении.
2. На рисунках 7 и 8 автореферата не указаны ошибки величин сенсорного отклика.
3. На основании дифрактограммы, приведенной на рис. 11 автореферата, автор делает вывод о том, что образец имеет нанокристаллическое строение, близкое к рентгеноаморфному, кристаллическая форма кристобалит. Однако представленная дифрактограмма не дает никакой информации о кристаллической фазе  $\text{SiO}_2$ .

Высказанные замечания не снижают ценности и научного уровня представленной работы.

Как по объему, так и по уровню выполненных экспериментальных и теоретических исследований, диссертационная работа Гхариб Дины Али Ахмед «Электрофизические и сенсорные свойства полупроводниковых пленок PdO для селективного детектирования озона» по своей актуальности и новизне, достоверности и совокупности полученных результатов, уровню их апробации соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе критериям, установленным в п. 9 - 14 положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г. (с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 11 сентября 2021 г. №1539), а её автор, Гхариб Дина Али Ахмед, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – Физика полупроводников.

*Согласен на обработку моих персональных данных*

22.06.2022 г.

**Румянцева Марина Николаевна**

доктор химических наук

(специальности 02.00.01 - неорганическая химия;

02.00.21 – химия твердого тела)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», химический факультет, кафедра неорганической химии  
профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», химический факультет  
Адрес: 119991 г. Москва, Ленинские горы, д. 1, строение 3  
Телефон: +74959395471, E-mail: roum@inorg.chem.msu.ru

