



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ  
ПРЕДПРИЯТИЕ «ДЕЛЬТА»  
(ОАО «НПП «ДЕЛЬТА»)

127299, г. Москва, ул. Клары Цеткин, 18  
Телефон: (499) 153-13-41, 154-41-96, 153-61-21  
Факс: (495) 450-27-48

УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

ОАО «НПП «Дельта»

И.С.Кузнецов



«25» 09 2014г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Синёва Ильи Владимировича «Температурная зависимость сопротивления тонкопленочных резисторов на основе диоксида олова» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро - и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Диссертационная работа Синёва Ильи Владимировича имеет общий объём 209 страниц, в том числе 74 рисунка, 6 таблиц и 29 страниц списка литературы, содержащего 277 наименований источников.

Работа посвящена исследованию электрофизических свойств резистивных сенсоров газа и мультисенсорных микросистем на основе тонких пленок широкозонного полупроводника диоксида олова. Причем эти пленки находят применение не только в качестве чувствительных элементов сенсоров газа, но и широко применяются в электронике как прозрачные электроды, резистивные нагреватели и др.

Диоксид олова часто рассматривается в качестве модельного материала при исследовании газочувствительности металлоксидных сенсоров газа и поэтому является материалом для сенсоров, который наиболее исследован как теоретически, так и экспериментально. Вместе с тем целый ряд важных вопросов остается актуальным. В первую очередь требуют решения

следующие задачи: повышение чувствительности сенсоров, повышение селективности сенсоров, уменьшение временного дрейфа параметров сенсора, снижение влияния влажности окружающего воздуха на показания сенсоров. Решение указанных задач требует расширения фундаментальных знаний о физике процессов, отвечающих за газочувствительность полупроводниковых сенсоров, математического описания установленных закономерностей, компьютерного моделирования характеристик полупроводниковых сенсоров.

Температурная зависимость сопротивления является важной характеристикой сенсора, так как она отражает физические процессы, протекающие в объеме и на поверхности чувствительного слоя. Одним из способов повышения селективности газового сенсора является применение циклического нагрева и охлаждения чувствительного слоя, что также требует знания температурной зависимости сопротивления.

Многие исследователи отмечают, что на температурной зависимости сопротивления газочувствительных оксидов металлов наблюдается участок, на котором сопротивление возрастает при увеличении температуры. Наличие такого участка не характерно для полупроводников. Имеющиеся в литературе объяснения этого явления делятся на две группы: увеличение сопротивления связано с десорбцией воды с поверхности; увеличение сопротивления связано с изменением преимущественной формы адсорбции кислорода на поверхности диоксида олова. Поэтому изучение температурной зависимости сопротивления и ее математическое моделирование, опирающееся на представления о смене формы адсорбции кислорода на поверхности, вносит вклад в развитие научных представлений о физических процессах взаимодействия полупроводниковых слоев с окружающей средой. Тема диссертации актуальна.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, в котором сформулированы основные результаты и выводы работы, списка использованной литературы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели работы и основные положения, выносимые на защиту, определена структура диссертации.

Первая глава посвящена анализу работ, касающихся исследований диоксида олова как материала для газовых сенсоров. Рассмотрены механизмы влияния состава окружающей среды на сопротивление сенсора, технологические аспекты получения газочувствительных слоев, существующие подходы к математическому моделированию газочувствительности полупроводниковых сенсоров газа.

Вторая глава содержит описание технологии получения исследуемых образцов, приведены результаты их характеристики. Предложена методика оптимизации процесса высокочастотного магнетронного реактивного распыления стехиометрической мишени диоксида олова, позволяющая управлять структурой покрытия с помощью изменения параметров технологического процесса. Показано, что полученные образцы обладают газочувствительностью с кратностью изменения сопротивления при воздействии тестового газа, соответствующей мировому уровню производимых промышленностью сенсоров газа. Описана структура и характеристики аппаратно-программного комплекса для исследования электрофизических характеристик газочувствительных полупроводниковых сенсоров.

В третьей главе приведены экспериментальные результаты исследования электрофизических свойств полученных образцов. Показано наличие участка на зависимости сопротивления от температуры, на котором сопротивление возрастает с ростом температуры. Увеличение влажности окружающей среды приводит к уменьшению сопротивления во всем температурном диапазоне. На зависимости сопротивления от влажности окружающей среды наблюдается участок с насыщением при относительной влажности выше 50%. Определено влияния скорости изменения температуры во время измерения на вид температурной зависимости сопротивления

сенсора. Показано, что результаты измерения сопротивления сенсора зависят от условий хранения образцов, режима работы перед измерением, что приводит к получению невоспроизводимых результатов при проведении повторных измерений через продолжительный промежуток времени. Продемонстрировано, что применение предварительной подготовки образца перед измерением позволяет повышать воспроизводимость результатов измерений.

В четвертой главе математически проанализированы основные процессы, определяющие температурную зависимость сопротивления пленок диоксида олова в атмосфере, содержащей кислород и пары воды. Полученная в результате система уравнений описывает влияние таких параметров, как степень окисления поверхности, состав окружающей среды, температура образца, уровень легирования, на сопротивление слоя.

Анализ полученной системы уравнений показал, что экспериментальные данные хорошо описываются в рамках предположения о существовании на поверхности трех типов центров адсорбции для кислорода и воды, что согласуется с литературными данными о строении поверхности диоксида олова. Выделены температурные диапазоны, в которых следует производить подбор конкретных параметров модели.

В пятой главе приведены результаты исследования влияния предварительной подготовки сенсора газа на стабильность сопротивления в атмосфере сухого воздуха. Изучено распознавание примеси паров аммиака в воздухе с помощью мультисенсорной микросистемы на основе тонкопленочных резистивных сенсоров. Показано, что использование предварительного термоциклирования сенсоров увеличивает расстояние между классами «Аммиак» и "Чистый воздух" при обработке результатов измерения с помощью линейного дискриминантного анализа. Повышение стабильности объясняется более воспроизводимым заполнением центров адсорбции на поверхности полупроводниковой пленки.

В заключении обобщены результаты исследования, изложены основные выводы.

В результате рассмотрения материала диссертации выявлены следующие недостатки работы:

1. В литературном обзоре недостаточно полно рассмотрены существующие методы повышения стабильности сигнала газовых сенсоров. В частности не рассмотрено использование газочувствительных слоев сложного состава.

2. Полученные образцы не охарактеризованы методом рентгеноструктурного анализа.

3. Не проанализировано влияние предложенного в пятой главе метода стабилизации сопротивления сенсора на долговременную стабильность сигнала сенсора.

4. В работе имеются грамматические ошибки и стилистические неточности. (Например, стр. 22, строки 7,15, 18, 25 сверху, стр. 42 строки 4, 6, 9 сверху и др.)

Отмеченные недостатки снижают впечатление от работы, но не влияют на то, что общая оценка диссертации положительна.

Достоверность и тщательность анализа полученных результатов не вызывает сомнений. Диссертация представляет собою логически выстроенное завершенное научное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Главная научная новизна работы состоит в том, что в диссертации предложен оригинальный метод математического описания температурной зависимости сопротивления пленки диоксида олова, объяснено донорное действие паров воды в рамках модели конкуренции частиц кислорода и воды за места адсорбции на поверхности диоксида олова. Основная практическая значимость диссертации состоит в разработке методики стабилизации базовой линии сенсора и повышении распознавательной способности мультисенсорной микросистемы на основе

тонкопленочных газочувствительных резисторов. Результаты работы были использованы при выполнении проекта в рамках гранта РФФИ.

Работа может быть полезна при разработке и эксплуатации сенсорных элементов, систем на их основе, изучении соответствующих курсов студентами и аспирантами. Ее можно рекомендовать к использованию в следующих организациях: ООО "НПП "Дельта", РНЦ "Курчатовский институт", Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", ООО "Аналитхимавтоматика", ГОУ ВПО "Вологодский государственный технический университет" и др.

Материалы диссертации опубликованы в 29 печатных работах, в том числе - 10 статьях из журналов, включенных в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации.

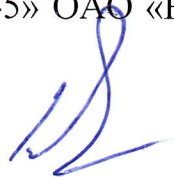
Автореферат диссертации достаточно полно отражает её содержание.

Таким образом, диссертация Синёва Ильи Владимировича является научно-квалификационной работой, содержащей решение задачи математического моделирования температурной зависимости сопротивления газочувствительных резисторов, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата. Автор диссертации Синёв Илья Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах".

Отзыв обсужден в НПЦ «Дельта-5» ОАО «НПП «Дельта» (протокол №10/9-14 от 19.09.2014).

Председатель

Секретарь



Евстигнеев М.В.

Соколов А.В.