

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.243.01 НА БАЗЕ
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 23 октября 2014 г. № 30

О присуждении **Синёву Илье Владимировичу**, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация *«Температурная зависимость сопротивления тонкопленочных резисторов на основе диоксида олова»* по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах» принята к защите 3 июля 2014 г., протокол № 22, диссертационным советом Д 212.243.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Министерство образования и науки РФ, почтовый адрес: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, совет утвержден приказом Министерства образования и науки РФ от 15.02.2013 г. № 75-нк.

Соискатель Синёв Илья Владимирович 1987 года рождения, в 2009 году окончил Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского с присуждением квалификации инженер по специальности «Микроэлектроника и твердотельная электроника». В 2012 году окончил очную аспирантуру Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского.

Работает ассистентом в ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского», Министерство образования и науки РФ.

Диссертация выполнена на кафедре материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского», Министерство образования и науки РФ.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор *Кисин Владимир Владимирович*, профессор кафедры материаловедения, технологии и управления качеством Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского.

Официальные оппоненты:

1. *Рембеза Станислав Иванович*, заслуженный деятель науки РФ, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой полупроводниковой электроники и наноэлектроники ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»,

2. *Зайцев Борис Давыдович*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лаборатория физической акустики Саратовского филиала ФГБУН «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – *ОАО «Научно-производственное предприятие «Дельта»*, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Евстигнеевым Михаилом Викторовичем, директором НПЦ «Дельта-5» ОАО «НПП «Дельта», Соколовым Андреем Владимировичем, заместителем директора по газоаналитике, Харламочкиным Евгением Сергеевичем, к.ф.-м.н., старшим научным сотрудником, указала, что 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. Диссертация Синёва Ильи Владимировича является научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Соискатель имеет 29 опубликованных работ по теме диссертации, 10 из которых опубликованы в ведущих рецензируемых изданиях из списка ВАК при Минобрнауки РФ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Синёв И.В., Симаков В.В., Никитина Л.В., Колоколов М.В. Газочувствительные свойства наноструктурированных тонкопленочных слоев диоксида олова // Нанотехника. – 2010. - № 1 (21). - С.24-28 (приведены результаты характеристики газочувствительных свойств и морфологии образцов плёнок диоксида олова);

Синёв И.В., Симаков В.В., Никитина С.Д., Сякина С.Д. Распознавание газовых смесей на основе анализа температурных зависимостей чувствительности наноструктурированных тонкопленочных слоев диоксида олова к газам-восстановителям // Нанотехника. – 2010. - N 4(24). - С. 22-26 (экспериментально исследовано влияние примесей различных газов на температурную зависимость сопротивления тонкой плёнки диоксида олова и показана возможность распознавания газов восстановителей путём анализа температурной зависимости сопротивления газочувствительной плёнки);

Синёв И.В., Смирнов А.В., Симаков В.В. Формирование пленок диоксида олова с вертикально ориентированными нанопорами // Нанотехника. – 2011. - № 3. – С. 45-46 (предложен механизм формирования покрытий, при котором размеры зерен определяются плотностью зародышеобразования. Показано, что плотностью зародышеобразования можно управлять, меняя рабочее давление в вакуумной камере);

Синёв И.В., Симаков В.В., Кисин В.В. и др. Распознавание запахов дыма на основе анализа динамики отклика мультисенсорной микросистемы // Нано- и микросистемная техника. - 2012. - № 9. - С. 49-54 (исследовалась динамика отклика мультисенсорной микросистемы на воздействие газовоздушных смесей различного состава. Показано, что предварительная обработка сигналов микросистемы позволяет повысить её распознавательную способность при анализе запахов дыма от сгорания органических веществ);

Синёв И.В., Симаков В.В., Кисин В.В. и др. Влияние предварительного нагрева на распознавательную способность мультисенсорной микросистемы // Нано- и микросистемная техника. – 2014. - № 1. - С. 52-56 (показано, что предварительное

циклическое изменение температуры сенсора снижает долговременный дрейф сопротивления сенсоров микросистемы и повышает её способность распознавать примесь аммиака в воздухе).

На диссертацию и автореферат поступило 6 положительных отзывов:

из Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН от д.ф.-м.н. г.н.с. лаборатории электронных процессов в полупроводниковых материалах *В.И. Анисимкина*, из Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» от д.ф.-м.н., профессора кафедры микро- и наноэлектроники, профессора *В.А. Мошникова*; из Ульяновского государственного технического университета от д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой проектирования и технологии электронных средств, *М.К. Самохвалова*; из Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А. от д.т.н., профессора кафедры физики, научного руководителя лаборатории сенсоров и микросистем *В.В. Сысоева*; из Энгельсского технического института Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А. от д.т.н., заведующего кафедрой «Естественные и математические науки» *А.В. Яковлева*; из ООО «КБ Пожарной автоматики», г. Саратов, от к.т.н., начальника конструкторского отделения *А.Е. Константинова* и директора ООО *Ю.Л. Ломакина*.

В отзывах сделаны замечания об отсутствии в автореферате: а) оценок погрешностей измеряемых величин, б) сравнений с результатами других исследователей, в) значений параметров при получении плёнок диоксида олова и рабочих температур, при которых производились измерения чувствительности к парам этанола и аммиака, г) данных о динамике деградации образцов, д) сведений об особенностях исследуемой в гл 5 мультисенсорной микросистемы, е) пояснений о влиянии пористости диоксида олова на возникновение участка с положительным температурным коэффициентом сопротивления на температурной зависимости сопротивления, ж) обоснования применимости модели плоских зон. Сделаны также замечания по терминологии («пассивация») и оформлению отдельных рисунков.

Выбор заслуженного деятеля науки РФ, д.ф.-м.н., профессора С.И. Рембезы официальным оппонентом обосновывается его высоким научным авторитетом в области, которой посвящена диссертация соискателя. Выбор официальным оппонентом д.ф.-м.н., профессора Б.Д. Зайцев обусловлен тем, что он является одним из ведущих специалистов в области сенсоров, а его исследовательские работы касаются исследуемого в работе соискателя материала. Оппоненты имеют публикации

в рецензируемых научных изданиях, соответствующие области исследования соискателя. Ведущая организация ОАО «НПП «Дельта» является производителем и разработчиком газовых сенсоров. Большое количество патентов и публикаций в научных изданиях подтверждают компетентность её сотрудников подтвердить научную и практическую значимость диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана оригинальная математическая модель проводимости резистивного сенсора на основе тонкой пленки металлоксидного широкозонного полупроводника, количественно описывающая температурную зависимость проводимости и зависимость проводимости от влажности окружающего воздуха. Модель имеет в основе гипотезу, согласно которой донорное действие паров воды обусловлено пассивацией гидроксильными группами центров адсорбции кислорода на поверхности пленки полупроводника. Образование локального максимума на температурной зависимости проводимости объяснено сменой форм адсорбции кислорода на поверхности полупроводника.

предложена и экспериментально подтверждена методика расчета температурной зависимости проводимости резистивных сенсоров газа на основе слоев диоксида олова. Полученные математические соотношения, связывающие друг с другом параметры активного слоя сенсора, параметры режима его работы, параметры окружающей атмосферы, показали пути улучшения качества анализа газоздушных смесей, в частности, повышения надежности классификации сложных смесей;

доказано, что предварительная температурная обработка тонких пленок диоксида олова путем выдержки при температуре 450°C в атмосфере сухого воздуха и последующее быстрое охлаждение до рабочей температуры стабилизирует температурную зависимость проводимости, уменьшает дрейф сопротивления сенсора в чистом воздухе и увеличивает распознавательную способность мультисенсорной системы на их основе.

введен новый подход к определению оптимальных технологических параметров процесса нанесения тонкой плёнки диоксида олова методом высокочастотного реактивного магнетронного распыления стехиометрической мишени.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

создана математическая модель температурной зависимости сопротивления тонких плёнок диоксида олова, позволяющая оптимизировать алгоритмы обработки сигналов мультисенсорной газочувствительной системы;

показано, что в рамках модели плоских зон для аппроксимации температурной зависимости проводимости при фиксированном уровне влажности достаточно ограничиться предположением о наличии на поверхности одного типа центров адсорбции, тогда как для описания семейства кривых, полученных при разном уровне влажности, необходимо учитывать три типа центров адсорбции.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработан вариант метода осаждения тонких плёнок оксидов металлов с помощью высокочастотного реактивного магнетронного распыления стехиометрической мишени, особенностью которого является проведение процесса в два этапа. Этап формирования зародышей проводится при высокой скорости распыления мишени, а этап разращивания зерен при понижении скорости распыления, но в условиях затенения одних растущих зерен пленки другими. Этим методом получены газочувствительные плёнки диоксида олова с открытыми наноразмерными порами, ориентированными перпендикулярно подложке, и обладающие совокупностью параметров, перспективной для применения в сенсорах газа.

определено, что применение предварительного термоциклирования при распознавании примеси аммиака в воздухе позволяет существенно повысить расстояние Евклида - Махаланобиса в процессе распознавания примеси аммиака в воздухе, что приводит к повышению распознавательной способности.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных технологий при создании образцов для исследования (в т.ч. метод осаждения тонких плёнок реактивным магнетронным высокочастотным распылением), методов характеристики образцов (в т.ч. сканирующая электронная микроскопия), автоматизация эксперимента, численные методы решения систем уравнений.

Работа может быть полезна при разработке и эксплуатации сенсорных элементов и систем на их основе. Результаты работы рекомендуются к использованию в научно-производственных организациях (ООО "НПП "Дельта", РНЦ "Курчатовский институт", Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", ООО "Аналитхимавтоматика"), а также в учреждениях высшего образования (Саратовский государственный университет, Вологодский государственный технический университет, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. и др.)

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Результаты экспериментальных работ получены на аттестованном оборудовании кафедры материаловедения, технологии и управления качеством и лаборатории технологии материалов и покрытий Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского. В работе проведена оценка погрешности измерений. Полученные экспериментальные результаты согласуются с данными других исследователей.

теория построена на известных, проверенных данных о строении поверхности диоксида олова, механизмах взаимодействия частиц кислорода и воды с поверхностью при повышенных температурах.

идея базируется на обобщении мировых научных достижений по изучению газочувствительных свойств металлоксидных полупроводников.

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, а также методы планирования эксперимента.

Личный вклад соискателя состоит в проведении основных экспериментальных исследований и обработке их результатов на основе построенной математической модели, написании аналитического обзора, апробации результатов. Формулировка научных проблем и выбор направлений исследований и практического применения результатов проводились совместно с научным руководителем. При использовании результатов других авторов и результатов, полученных в соавторстве, даются соответствующие ссылки.

Диссертация Синёва Ильи Владимировича является научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи твердотель-

ной электроники, и удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

На заседании 23 октября 2014 г. диссертационный совет принял решение присудить Синёву Илье Владимировичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 25 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.27.01, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящего в состав совета, проголосовали: ЗА – 25, против – нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель
диссертационного совета

И.С.



Усанов Дмитрий Александрович

Ученый секретарь
диссертационного совета

В.М.

Аникин Валерий Михайлович

23 октября 2014 г.