

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Алмаева Алексея Викторовича  
«Электрические и газочувствительные характеристики сенсоров водорода  
на основе тонких пленок диоксида олова»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.10 – «Физика полупроводников»

Развитие систем мониторинга низких концентраций водорода (10–1000 ppm) в атмосфере требует разработку новых быстродействующих, высокочувствительных, миниатюрных датчиков и систем на их основе с продолжительным сроком службы. Такие приборы представляют интерес для медицинских и лабораторных целей при необходимости диагностики у пациентов непереносимости ряда углеводов (лактоза, фруктоза, сахароза). Согласно последним исследованиям газовые датчики на основе тонких пленок диоксида олова отвечают этим требованиям. Однако их широкое внедрение в производство ограничивается некоторыми факторами, к которым можно отнести слабую обоснованность моделей процессов взаимодействия частиц газов с поверхностью полупроводника, значительная зависимость газочувствительных характеристик приборов от неконтролируемых изменений влажности окружающей среды, отсутствие исследований изменений характеристик датчиков при долговременных выдержках в рабочем режиме. В диссертационной работе Алмаева А. В., посвященной разработке физических основ функционирования сенсоров водорода на основе тонких поликристаллических пленок диоксида олова в режиме термоциклирования, отчасти решены упомянутые выше проблемы. Преимуществом работы является использование в качестве рабочего режима датчиков термоциклирование, чередование нагрева приборов до высоких и низких температур, в результате чего возможно снижение потребляемой энергии и увеличение срока службы приборов. Предложен оригинальный метод определения изгиба энергетических зон на границе раздела нанокристаллов SnO<sub>2</sub> в поликристаллической пленке диоксида олова из анализа временной зависимости проводимости в режиме термоциклирования. Согласно, привлекаемым Алмаевым А. В., моделям при обсуждении результатов, чувствительность датчиков к водороду задается именно величиной изгиба энергетических зон. Разработаны модели взаимодействия частиц водорода с поверхностью диоксида олова во влажной среде. Показана возможность управления чувствительностью датчиков к водороду и влажности путем модификации диоксида олова металлами. Представлены исследования основных характеристик датчиков (изгиб энергетических зон и отклик на водород) при длительной выдержке в рабочем режиме.

Результаты, полученные автором, являются новыми и имеют большое значение для развития физики полупроводников и разработки систем мониторинга состава атмосферы. Они неоднократно докладывались на международных научных конференциях и опубликованы в 23 научных публикациях, в том числе 8 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. Эти показатели подтверждают, что работа Алмаева А. В. должным образом оценена научным сообществом.

Автореферат хорошо структурирован и дает полное представление об основных результатах и выводах диссертационной работы. Однако при изучении текста автореферата можно выделить некоторые замечания:

1. Практически отсутствует раздел об исследовании структуры пленок диоксида олова.

2. Помимо высокой влажности, в атмосфере имеется ряд других посторонних примесей. Автором не описано, каким образом обеспечивается селективность датчиков к водороду.

3. Из исследований характеристик датчиков при длительных выдержках в рабочем режиме следует, вывод о необходимости проведения предварительного этапа старения приборов перед использованием. Данное обстоятельство не отражено в автореферате.

Указанные замечания не уменьшают значимость результатов работы и не отражаются на достоверности полученных результатов. Можно заключить, что диссертационная работа Алмаева А. В. «Электрические и газочувствительные характеристики сенсоров водорода на основе тонких пленок диоксида олова» отличается актуальностью, научной и практической значимостью, и полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – Физика полупроводников.

Директор  
Международного государственного  
экологического института имени А. Д. Сахарова  
Белорусского государственного университета  
доктор физ.-мат. наук, профессор  
9 февраля 2018 г.

Сергей Александрович Маскевич

Доцент кафедры общей и медицинской физики  
Международного государственного  
экологического института имени А. Д. Сахарова  
Белорусского государственного университета  
кандидат физ.-мат. наук, доцент  
9 февраля 2018 г.

Наталья Александровна Савастенко

Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, адрес: 220070, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Долгобродская, 23/1; телефон +375 17 398-99-79; E-mail: info@iseu.by; адрес сайта: <http://www.iseu.bsu.by/>

Подпись Маскевича Сергея Александровича, удостоверяю

Ученый секретарь МГЭИ  
им. А. Д. Сахарова БГУ, к. т. н., доцент



Наталья Александровна Лысухо

Подпись Савастенко Натальи Александровны, удостоверяю

Ученый секретарь МГЭИ  
им. А. Д. Сахарова БГУ, к. т. н., доцент



Наталья Александровна Лысухо