

ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу

Дуйсебаева Толағая Сабыржанұлы на тему «Электронные системы на основе полупроводников с эффектами резистивного переключения и свойствами сенсора органических веществ», предоставленную на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D0621 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы); 2) диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы); 3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).	Работа выполнена в рамках проекта № AP19678266 «Разработка селективного газового сенсора для взрывоопасных и вредных веществ на основе наноструктурированных полупроводников для обеспечения промышленной безопасности», финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (2023-2025гг.)
2.	Важность для науки	Работа вносит/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта.	Диссертационная работа посвящена актуальной научно-технической проблеме разработки и исследования полупроводниковых электронных систем,

			сочетающих свойства газочувствительных сенсоров и структур с эффектом резистивного переключения. Исследования в данном направлении имеют важное значение для развития современной микро- и нанoeлектроники, интеллектуальных сенсорных систем, устройств энергонезависимой памяти и нейроморфных вычислительных технологий. Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений. В условиях интенсивного развития Интернета вещей (IoT), систем экологического мониторинга, промышленной безопасности и интеллектуальной электроники возрастает потребность в создании многофункциональных устройств, способных одновременно выполнять функции регистрации, хранения и обработки информации. Особый интерес представляют структуры на основе пористого кремния и металлоксидных полупроводников, обладающие
--	--	--	---

			высокой чувствительностью к газовым средам и демонстрирующие эффекты резистивного переключения.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности:	Дуйсебаев Толағай в процессе написания диссертационной работы провел комплексное исследование газочувствительных свойств полупроводниковых элементов начиная от синтеза полупроводников до исследования электрических, оптических свойств, морфологии и их взаимосвязи в задачах газосенсорики.
		1) высокий;	
		2) средний;	
		3) низкий;	
		4) самостоятельности нет.	
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации:	В условиях интенсивного развития Интернета вещей (IoT), систем экологического мониторинга, промышленной безопасности и интеллектуальной электроники возрастает потребность в создании многофункциональных устройств, способных одновременно выполнять функции регистрации, хранения и обработки информации. В данном контексте актуальность диссертации обоснована.
		1) обоснована;	
		2) частично обоснована;	
		3) не обоснована.	
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:	

		1) отражает;	Содержание диссертации включает литературный обзор по современным достижениям газовых сенсоров и элементов памяти на основе полупроводниковых электронных систем, проблемы и задачи газосенсорики и пути их решения, а также представлен потенциал использования работы в создании нового класса электронных устройств «газисторов»
		2) частично отражает;	
		3) не отражает.	
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:	Цели и задачи соответствуют теме диссертации
		1) соответствуют;	
		2) частично соответствуют;	
		3) не соответствуют.	
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:	Разделы и положения диссертации имеют логическую структуру и взаимосвязь
		1) полностью взаимосвязаны;	
		2) взаимосвязь частичная;	
		3) взаимосвязь отсутствует.	
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:	Предложенный автором метод эллипсометрии вызывает широкий интерес в задачах газосенсорики т.к. оно применено впервые и аргументируется
		1) критический анализ есть;	
		2) анализ частичный;	

5.	Принцип научной новизны	3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов;	соответствующими публикациями
		4) анализ отсутствует.	
		5.1 Научные результаты и положения являются новыми?	Научные результаты и положения являются новыми
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
		5.2 Выводы диссертации являются новыми?	В диссертационной работе предложен новый метод эллипсометрии для задач газосенсорики, показана связь между морфологией и структурой полупроводниковых систем на газочувствительные свойства. Выводы диссертации полностью новые
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:	Предложенные технические решения в диссертационной работе являются полностью новыми и обоснованными
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	

6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы основаны /не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (куолитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Все основные выводы в диссертационной работе логически связаны и подкреплены научными публикациями.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) доказано; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно. 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно. 7.3 Является ли новым? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно. 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий;	1. Интегрированный в электронную систему сенсорный элемент из пористого кремния, полученный методом электрохимического травления с параметрами плотности тока $j = 12 \text{ мА/см}^2$, напряжения $U = 9 \text{ В}$ и времени $t = 45 \text{ мин}$ (пористость 52%) демонстрирует наибольшую чувствительность к аммиаку – 42%, с временем отклика равным $t_{\text{откл}} = 35 \text{ с}$. 7.1 доказано; 7.2 нет; 7.3 да; 7.4 широкий; 7.5 да; 2. При исследовании гетероструктуры $\text{SnO}_2/\text{por-Si}$ на основе метода эллипсометрии, газочувствительный отклик на пары этанола и пропанола

		4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.	увеличивается более чем на 50 % при увеличении толщины металлоксидного слоя со 100 нм до 300 нм. 7.1 доказано; 7.2 нет; 7.3 да; 7.4 широкий; 7.5 да; 3. Полученная гетероструктура NiO/MgO с анизотропным резистивным переключением дает наибольшее соотношение HRS/LRS равное 10^2 , при значениях напряжения ± 5 В и параллельной конфигурации электродов. 7.1 доказано; 7.2 нет; 7.3 да; 7.4 широкий; 7.5 да;
		7.5 Доказано ли в статье?	
		1) да;	
		2) нет;	
8.	Принцип достоверности.	3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	Методология исследований в диссертационной работе подробно описаны и логически связаны
	Достоверность источников и предоставляемой информации	1) да;	
		2) нет.	

		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:	Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов анализа (SEM, XRD, UV-Vis и т.д) и научных исследований.
		1) да;	
		2) нет.	
		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента):	Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены соответствующими публикациями
		1) да;	
		2) нет.	
		8.4 Важные утверждения подтверждены /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Важные утверждения подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу
		8.5 Используемые источники литературы достаточны /не достаточны для литературного обзора.	Используемые источники литературы достаточны для литературного обзора
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:	Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в установлении взаимосвязи между структурными, морфологическими, электрическими и газочувствительными свойствами полупроводниковых
		1) да;	
		2) нет.	

			структур на основе пористого кремния и металлооксидных гетероструктур. Полученные результаты расширяют представления о механизмах резистивного переключения, процессах адсорбции газов и влиянии толщины металлооксидных слоёв на формирование газочувствительного отклика. Также показана перспективность применения метода спектральной эллипсометрии для исследования адсорбционных процессов в задачах газосенсорики
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:	Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанных
		1) да;	полупроводниковых
		2) нет.	электронных систем для детектирования летучих органических соединений (ЛОС) в системах экологического мониторинга, промышленной безопасности и медицинской диагностики. Полученные результаты также могут быть применены при создании элементов

			энергонезависимой памяти и функциональных устройств нового поколения на основе эффектов резистивного переключения. Кроме того, результаты исследования открывают перспективы разработки нового класса устройств – газисторов, объединяющих сенсорные и мемристивные свойства.
		9.3 Предложения для практики являются новыми:	Предложения по газочувствительным механизмам и методики их определения, представленные в диссертационной работе, являются полностью новыми
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма:	Качество академического письма диссертационной работы на высоком уровне
		1) высокое;	
		2) среднее;	
		3) ниже среднего;	
		4) низкое.	
11.	Замечания к диссертации	1.некоторые из нововведений, изложенных в диссертации, представлены на уровне оптимизации экспериментальных параметров. Следовательно, их отличие от предыдущих исследований и научная новизна должны быть более конкретными. 2.несмотря на то, что по газовым датчикам цитируется много работ, Научный перевес работы проявился бы, если бы анализ был проведен глубже, сравнив их достоинства и недостатки. 3.по чувствительности датчиков, времени отклика и порогу обнаружения рекомендуется сравнивать с результатами последних лет. 4. роль DFT-моделирования в объяснении механизмов газочувствительности результатов расчетов должна быть более выражена	

		5.долговременная стабильность датчиков недостаточно предусмотрена. Необходимы дополнительные данные о стабильности устройств с течением времени, влиянии факторов окружающей среды и воспроизводимости. 6.статистическая обработка результатов показана недостаточно. Надежность результатов повышается, если приводится количество повторений измерений, стандартное отклонение и величины погрешности. Данные замечания носят рекомендательный характер и не снижают научной ценности диссертационной работы. В целом диссертация посвящена актуальной теме, достаточно обоснована научная новизна и практическая значимость.
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	По теме диссертационного исследования докторантом опубликованы научные статьи в международных рецензируемых изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, а также в изданиях, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК. Результаты исследований представлены в журналах различного уровня, включая издания первого и второго квартилей (Q1–Q2), что свидетельствует о востребованности и актуальности полученных научных результатов. В целом научный уровень публикаций соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным исследованиям на соискание степени доктора философии (PhD), а полученные результаты обладают научной новизной, практической значимостью и опубликованы в международных научных изданиях.
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Диссертационная работа Дуйсебаева Толағая Сабыржанұлы «Электронные системы на основе полупроводников с эффектами резистивного переключения и свойствами сенсора органических веществ» является завершённым научным исследованием, содержит новые научно обоснованные результаты, имеющие существенное значение для развития полупроводниковой электроники, сенсорики и устройств энергонезависимой памяти. По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD), а её автор заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D06201 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

Рецензент,

доктор философии (PhD), профессор,

Руководитель лаборатории Инженерного профиля,

КазННТУ им.К.И.Сатпаева



Азат Сейтхан