

**ОТЗЫВ официального оппонента  
на диссертационную работу Зайцева Владимира Борисовича  
«Активные молекулярные системы на поверхности твердых тел»,  
представленную на соискание учёной степени  
доктора физико-математических наук  
по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»**

В последние годы перспективными направлениями исследований становятся работы по изучению композитных систем, включающих неорганическую твердотельную подсистему и подсистему из органических молекул. Этот факт обусловлен возможностью сочетать в таких системах преимущества твердотельных структур с уникальными функциональными возможностями органических материалов. Решение многих проблем на пути создания таких композитных систем требует детального исследования взаимодействия тонких адсорбированных слоев активных органических молекул с поверхностными слоями твердых тел. Детальное изучение такого взаимодействия необходимо и для построения перспективных устройств молекулярной электроники, поэтому тема диссертационной работы В. Б. Зайцева является **весьма актуальной и имеет большую практическую значимость**

В диссертационной работе детально рассмотрено взаимное влияние твердого тела и адсорбированных на его поверхности систем активных органических молекул. Под активными органическими молекулами автор подразумевает молекулы, способные обмениваться с поверхностью твердого тела электронами, ионами или энергией, а также молекулы органических полупроводников, сегнетоэлектриков и жидких кристаллов. Все эти типы объектов являются перспективными для применения в современной микро- и нанoeлектронике.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы.

Введение отражает актуальность темы диссертации, цели работы и решаемые задачи, научная новизна, практическую значимость полученных результатов, выносимые на защиту положения, сведения об апробации работы и личный вклад автора.

Первая глава посвящена рассмотрению процессов переноса энергии от адсорбированных молекул в твердое тело. Изучен был также резонансный перенос колебательной энергии в адсорбционной фазе и его влияние на перенос в твердое тело. На основании подробных исследований предложен, в частности, новый принцип построения селективных полупроводниковых газовых сенсоров. Этот новый принцип имеет большую практическую значимость для сенсорики.

Во второй главе отражены результаты исследований протонных процессов на поверхности полупроводников и диэлектриков с адсорбированными органическими молекулами. Продемонстрирована тесная связь протонных и электронных процессов на поверхности.

Третья глава подробно представляет развитие автором метода люминесцентных молекулярных зондов для исследования неоднородностей поверхности твердых тел и тонких пленок, а также структурных и фазовых превращений в них. Предложенный метод весьма полезен для практических применений.

Четвертая глава посвящена исследованиям взаимодействия с поверхностью твердого тела уже не отдельных адсорбированных молекул или их кластеров, а созданных по ленгмюровской технологии тонких ориентированных слоев активных органических молекул.

В заключении кратко сформулированы основные результаты диссертационной работы и приведены основные выводы.

Среди новых результатов, полученных при выполнении исследований стоит выделить следующие:

- предложен новый физический принцип построения высокочувствительных селективных полупроводниковых резистивных газовых сенсоров, фотосенсибилизированных молекулами красителей;

- теоретически и экспериментально изучено влияние локальных электрических полей на поверхности твердого тела на спектры флуоресценции адсорбированных на поверхности молекул органических красителей, и на основании результатов этого исследования развит метод люминесцентных молекулярных зондов для исследования гетерогенности

поверхности твердых тел и тонких пленок, а также структурных и фазовых перестроек в них;

- молекулы фотокислот нафтолов использованы как контролируемые источники протонов для изучения протонных процессов на поверхности полупроводников и диэлектриков, обнаружена тесная взаимосвязь протонных и электронных процессов на поверхности;

- обнаружена и изучена возможность фотосенсибилизации с помощью молекул красителей, подвижности ионов на поверхности твердого тела, фазовых переходов в различных материалах и других процессов;

- исследовано взаимное влияние поверхности твердых тел и первых слоев упорядоченных пленок органических молекул, созданных по ленгмюровской технологии, показана возможность управления структурой тонких ленгмюровских пленок на поверхности твердого тела путем электронных и оптических воздействий;

- раскрыты характерные свойства тонких ленгмюровских пленок органических сегнетоэлектриков, полупроводников и жидких кристаллов, критически важные для их использования в микро- и нанoeлектронике и оптоэлектронике, показано, что сильное влияние переполаризации органических пленок (например, поливинилиденфторида с трифторэтиленом) и фазовых переходов в них на оптические характеристики самих пленок и внедренных в них молекул красителей позволяет использовать их в качестве новых материалов с управляемыми свойствами для нелинейной оптики, микроэлектроники и молекулярной электроники.

Достоверность полученных результатов обеспечена многократным проведением экспериментов в строго контролируемых условиях, сравнением результатов расчета с данными эксперимента. Полученные диссертантом результаты сравниваются с известными из литературы исследованиями.

Результаты работы диссертанта хорошо известны специалистам, они широко обсуждались на российских и международных конференциях. Полученные результаты опубликованы в 80 статьях в отечественных и международных журналах и сборниках, трех книгах и двух патентах, в том числе в 56 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах. В опубликованных статьях материал отражен полностью.

В диссертации даются ссылки на авторов и источники, откуда заимствованы материалы и отдельные результаты; список литературы содержит 549 наименований, включая публикации автора.

Диссертация содержит совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты, имеет внутреннее единство и свидетельствует об определяющем личном вкладе диссертанта. Сделанные выводы строго аргументированы и критически оценены. В диссертации имеются рекомендации о возможностях практического использования полученных результатов. Оформление диссертации соответствует требованиям, установленным Министерством образования и науки РФ.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

К диссертационной работе имеются следующие **замечания**.

1. В первой главе диссертации приведены результаты работы автора по исследованию нанокомпозитов из полимерной матрицы и внедренных в нее наночастиц (в частности, нанопластинок) полупроводников. Такие работы крайне актуальны, но автор представил их весьма кратко.

2. В первой главе желательно было бы подробнее осветить и сравнить механизмы действия разработанных автором газовых сенсоров на основе монокристаллического германия и на основе оксида цинка и сульфида кадмия.

3. В Главе 3 в разделе 3.4.2 показано применение люминесцентных молекулярных зондов для определения температуры стеклования поверхности полистирола с различной молекулярной массой. При этом сообщается, что результаты исследования совпали с результатами независимых экспериментов. Однако не указано, какие эксперименты и результаты имеются в виду.

Отмеченные недостатки не снижают ценности выполненной работы и полученных результатов и не могут оказать существенного влияния на высокую оценку работы в целом.

Диссертация В. Б. Зайцева является законченной научно-квалификационной работой, в которой сформулированы положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое достижение в

понимании взаимного влияния твердого тела и адсорбированных на его поверхности систем активных органических молекул.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Зайцева Владимира Борисовича «Активные молекулярные системы на поверхности твердых тел» удовлетворяет всем требованиям к докторским диссертациям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а автор работы, Зайцев Владимир Борисович, заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,  
главный научный сотрудник лаборатории электронных и фотонных процессов в полимерных наноматериалах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук

Тамеев Алексей Раисович

10 октября 2023 г.

Контактные данные:

тел.: 8495 955 4032; e-mail: [tameev@elchem.ac.ru](mailto:tameev@elchem.ac.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация: 02.00.04 — физическая химия

Адрес места работы:

119071, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4

ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина  
Российской академии наук (ИФХЭ РАН), лаборатория электронных и  
фотонных процессов в полимерных наноматериалах

Тел.: 8 495 955 46 01; e-mail: [dir@phyche.ac.ru](mailto:dir@phyche.ac.ru)

Подпись сотрудника ИФХЭ РАН А.Р. Тамеева удостоверяю.

Начальник отдела кадров ИФХЭ РАН

зедева

10 октября 2023 г.