

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу

Кутукова Павла Сергеевича

«Взаимодействие «твёрдое тело – газ» на поверхности нанокompозитов MO_x/PGM ($\text{M} = \text{Zn}, \text{In}, \text{Sn}$; $\text{PGM} = \text{Pd}, \text{Pt}$) и их сенсорные свойства в условиях фотоактивации»
представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.15 – «Химия твердого тела».

Кутуков Павел Сергеевич обучался в очной аспирантуре химического факультета и выполнил диссертационную работу в лаборатории химии и физики полупроводниковых и сенсорных материалов кафедры неорганической химии химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Диссертационная работа выполнена в рамках научного направления «Новые функциональные материалы для химических сенсоров». При выполнении работы П.С. Кутуковым синтезированы нанокристаллические полупроводниковые оксиды ZnO , SnO_2 , In_2O_3 и проведена их модификация кластерами PtO_x и PdO_x . Полученные материалы детально охарактеризованы с использованием комплекса современных методов: рентгеновской дифракции, электронной микроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Особое внимание уделено разработке методик *in situ* исследования взаимодействия материалов с газовой фазой в условиях фотоактивации методами масс-спектрометрии и ИК-спектроскопии диффузного отражения. В работе П.С. Кутукова получена новая достоверная информация о фотоактивируемых процессах, происходящих на поверхности полупроводниковых оксидов и нанокompозитов на их основе, и их роли в формировании сенсорного отклика при детектировании газов различной химической природы: диоксида азота, аммиака, летучих органических соединений.

В работе П.С. Кутуковым получена новая достоверная информация о взаимосвязях фундаментальных характеристик полупроводниковых оксидов ZnO , SnO_2 , In_2O_3 и параметров кластеров PtO_x и PdO_x , формирующихся на их поверхности при введении методом пропитки с последующим отжигом в кислородсодержащей атмосфере. Для установления процессов, ответственных за формирование сенсорного отклика нанокристаллических оксидов цинка, индия и олова и нанокompозитов на их основе в условиях УФ-активации в работе использован комплекс взаимодополняющих экспериментальных методов. Методом РФЭС изучены зарядовые состояния модификаторов в нанокompозитах. Методом оптической спектроскопии диффузного отражения и фотоэлектрической спектроскопии установлен характер поглощения используемого УФ-излучения исследуемыми материалами. Измерения ВАХ и температурных зависимостей проводимости позволили сформировать представление о

механизме транспорта носителей заряда в исследуемых материалах, а также при контакте материалов с подложкой. Методами *in-situ* и *operando* масс-спектрометрии изучены химические реакции, происходящие при взаимодействии исследуемых материалов с NO₂, O₂, NH₃ и ацетоном в темновых условиях и в условиях УФ-активации. Методом *in-situ* ИК-спектроскопии диффузного отражения с временным разрешением изучены процессы, происходящие на поверхности материалов при детектировании выбранных газов-аналитов в темновых условиях и непосредственно при УФ-облучении.

П.С. Кутуков имеет глубокую теоретическую подготовку в области неорганической химии, химии твердого тела, физической химии и физики полупроводников, которая сочетается с талантом инженера в части разработки уникальных экспериментальных установок для осуществления исследований в условиях *in-situ* и *operando*. Полученные П.С. Кутуковым результаты опубликованы в 4 статьях в реферируемых российских и международных научных журналах. Результаты исследований представлены в виде устных и стендовых докладов на 8 российских и международных научных конференциях.

Диссертационная работа Кутукова Павла Сергеевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно-обоснованные данные, имеющее значение для развития химии твердого тела и материаловедения. Высокий уровень выполненных исследований и качество опубликованных работ свидетельствуют о том, что Кутуков Павел Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата химических наук. Считаю, что диссертационная работа П.С. Кутукова полностью соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова и может быть рекомендована к защите на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 1.4.15 – «Химия твердого тела» на диссертационном совете МГУ.014.8.

Научный руководитель:

профессор кафедры неорганической химии

химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

д.х.н.

М.Н. Румянцева

22 сентября 2026 г.