

## ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н., профессора  
Любчанского Игоря Леонидовича  
о диссертационной работе Куликовой Дарьи Павловны  
«Газохромные эффекты в наноструктурах на основе оксидов переходных металлов и металлического катализатора в водородосодержащей атмосфере»,  
представленной на соискание учёной степени кандидата  
физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

Диссертационная работа Д.П. Куликовой посвящена экспериментальному изучению оптических и магнитооптических свойств ряда газочувствительных оксидов и металлов, которые являются перспективными для использования в оптических сенсорах водорода. **Актуальность** этих исследований обусловлена интенсивным развитием водородной энергетики и, следовательно, поиском новых перспективных материалов для контроля водорода в соответствующих устройствах. Фундаментальный и прикладной интерес имеют исследования влияния водородосодержащей атмосферы на магнитную подсистему окисленного пермаллоя.

Диссертация состоит из: а) Списка сокращений и условных обозначений; б) Введения; в) четырёх Глав, д) Заключения; е) Благодарностей, ж) списка Публикаций автора по теме диссертации из 10 наименований; з) Списка литературы, из 181 библиографической ссылки. Объём диссертации составляет 149 страниц и включает в себя 50 рисунков и 1 таблицу.

Во **Введении** сформулированы актуальность темы исследования, цели и задачи работы, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены положения, выносимые на защиту. В конце раздела приведена информация об апробации диссертационной работы.

В **первой Главе** приведён обзор научной литературы, посвящённой изучению свойств как газохромных оксидов и металлических катализаторов, так и исследованию газочувствительных микро- и наноструктур для оптического детектирования водорода в газовой среде.

Во **второй Главе** представлен способ определения дисперсионной зависимости комплексной диэлектрической проницаемости аморфного изотропного оксида вольфрама на различных стадиях его газохромного окрашивания в водородосодержащей атмосфере с помощью спектральной эллипсометрии. Обсуждаются дисперсионные модели, использованные для аппроксимации спектров эллипсометрических параметров. Выявлено, что в процессе реакции восстановления в  $H_2$  в спектре мнимой части диэлектрической проницаемости  $WO_3$  формируется особенность, с хорошей точностью описываемая двумя гауссовыми функциями. Автор проанализировал параметры данных функций (спектральное положение, амплитуду, ширину и др.) для различных стадий газохромного окрашивания  $WO_3$  и представил интерпретацию эффекта, основанную на формировании кислородных вакансий на поверхности и в объёме оксида, что подтверждается результатами исследова-

ний в работах других научных коллективов.

В **третьей Главе** описано изготовление газочувствительных наноструктур Pd/PdO на поверхности наноплёнки палладия с помощью локального отжига сфокусированным лазерным излучением. Обнаружено, что воздействие лазера приводит к окислению палладия. Была исследована зависимость интенсивности излучения, рассеянного наноструктурой в обратную полусферу, от её геометрических параметров и мощности лазера. Показано, что в водородосодержащей атмосфере оксид палладия необратимо восстанавливается до палладия и, соответственно, интенсивность рассеянного излучения уменьшается. Установлена связь амплитуды и скорости оптического отклика на водород с параметрами наноструктур Pd/PdO и продемонстрирована возможность их многократного формирования в области предыдущего воздействия лазерного излучения.

**Четвёртая Глава** посвящена исследованию проявления эффекта Фарадея в наноплёнках окисленного пермаллоя. Показано, что в результате термического отжига в воздухе при температурах  $\leq 425$  °C происходит увеличение фарадеевского вращения наноплёнок пермаллоя в ближнем инфракрасном спектральном диапазоне, а при бóльших температурах – стремительное уменьшение до нуля. Также было обнаружено, что наноплёнка окисленного пермаллоя, покрытая слоем катализатора, обладает магнитооптическим откликом на водород, накапливающимся в многопроходных схемах. Это говорит о влиянии газа-восстановителя на магнитный момент вещества и, соответственно, на его гиротропные свойства.

В разделе **Заключение** приведены основные результаты диссертационной работы, по одному для каждой из глав, в которых описаны исследования, проведенные диссертанткой.

В разделе **Благодарности** автор благодарит своих коллег и соавторов за помощь, при проведении научных исследований.

В разделе **Публикации автора по теме диссертации** приведен список из 10 статей в российских и зарубежных научных журналах, в которых опубликованы результаты исследований, полученных Д.П. Куликовой при выполнении диссертационной работы.

Раздел **Список литературы** состоит из 181 публикации.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, основные результаты своевременно опубликованы в высокорейтинговых отечественных и зарубежных научных журналах, а также были представлены на профильных российских и международных научных конференциях. Достоверность научных результатов, приведенных в диссертации Д.П. Куликовой не вызывает сомнений, поскольку при проведении исследований использовались современные экспериментальные установки и методики, а также адекватная теоретическая интерпретация полученных результатов. Более того, некоторые из статей диссертантки уже цитируются в научной периодике. А индекс Хирша Д.П. Куликовой  $H = 7$  (на момент написания отзыва).

В качестве основных **достижений**, полученных при проведении исследований в процессе работы над диссертацией, можно отметить следующие:

- Впервые определена дисперсионная зависимость диэлектрической проницаемости оксида вольфрама на различных стадиях его газохромного окрашивания в водороде, что открывает перспективы для более полного исследования хромогенных материалов и совершенствования оптических сенсоров водорода;
- Представлен простой способ изготовления «многоцветных» оптических наноструктур Pd/PdO, высокая чувствительность к водороду которых обусловлена оптимальным объёмным соотношением палладия и оксида палладия в структуре;
- Впервые обнаружен магнитооптический отклик на водород магнитного оксида металла – окисленного пермаллоя – и подтверждена его невзаимная природа.

Автореферат адекватно отражает как содержание, так и результаты диссертационной работы Д.П. Куликовой.

В то же время к работе имеется ряд замечаний:

- Во второй главе особенность в дисперсионной зависимости мнимой части диэлектрической проницаемости  $WO_3$ , обусловленная газохромным окрашиванием, описывается двумя гауссовыми функциями. Однако в тексте отсутствуют пояснения, почему для аппроксимации было выбрано именно две гауссианы.
- В главе 3 отсутствует исследование зависимости ширины и глубины полос PdO в наноструктурах Pd/PdO (например, с помощью РЭМ) от мощности лазерного излучения. Полученные в таком случае результаты позволили бы установить однозначную связь между режимом лазерной записи и объёмным соотношением PdO:Pd в наноструктуре и, соответственно, временами отклика этих наноструктур на газ.
- В главе 4 на рисунке 4.12 приведены зависимости угла фарадеевского вращения, измеренные в трёхпроходном режиме, но отсутствуют данные о магнитном круговом дихроизме.

Указанные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертации и не снижают ценность результатов, представленных диссертанткой. Диссертационная работа является актуальной и указывает на новые возможности исследования оптических материалов для совершенствования сенсоров водорода.

Общее впечатление о диссертационной работе Д.П. Куликовой исключительно положительное. На основании вышеизложенного считаю, что диссертация «Газохромные эффекты в наноструктурах на основе оксидов переходных металлов и металлического катализатора в водородосодержащей атмосфере» соответствует специальности 1.3.6. «Оптика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определённым пп. 2.1–2.5 «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», предъявляемым к кандидатским диссертациям, и оформлена согласно приложениям № 8 и 9 «Положения о сове-

те по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова», а её автор — Куликова Дарья Павловна — вне всякого сомнения заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. «Оптика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор,  
ведущий научный сотрудник отдела теории электронных  
и кинетических свойств нелинейных систем  
Донецкого физико-технического института имени А.А. Галкина

Любчанский Игорь Леонидович

«18» ноября 2024 г.

Контактные данные:

тел.: +7 (856) 311-52-27

E-mail: igorl@donfti.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена докторская диссертация:

01.04.07 — «Физика твердого тела»

Адрес места работы:

283048, Донецкая Народная Республика,

г. Донецк, ул. Розы Люксембург, д. 72

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина»

(ФГБНУ ДонФТИ им. А.А. Галкина)

Телефон: +7 (856) 311-52-27; e-mail: scsecr@donfti.ru

«Подпись Любчанского Игоря Леонидовича ЗАВЕРЯЮ»:

учёный секретарь

ФГБНУ ДонФТИ

им. А.А. Галкина, к.т.н.

Прокофьева О.В.