

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **Цветкова Александра Витальевича**

«СТРУКТУРА, ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯРНЫХ ПОРИСТЫХ МАТРИЦ ЦЕОЛИТОВ И МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОПАЛОВ»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертации. Диссертация А.В. Цветкова имеет непосредственное отношение к решению важной научной и практически значимой для физики конденсированного состояния задачи – установлению особенностей электрических и оптических явлений, наблюдаемых в нанокomпозиционных материалах на основе регулярных пористых диэлектрических матриц (цеолитов, опалов, а также асбестов и пористого оксида алюминия) и в гибридных металлодиэлектрических структурах на основе опалов. Малые размеры, высокая концентрация и идентичность пор позволяют получать ансамбли одинаковых по размеру упорядоченно расположенных наночастиц. В то же время зависимости физических свойств матричных композитов от методов их приготовления и типа используемой матрицы недостаточно изучены, что определяет **актуальность** данной работы.

Особый интерес представляют изученные автором важнейшие объекты фундаментальных исследований в области современной фотоники – плазмон-фотонные гетерокристаллы, которые представляют собой различные комбинации слоёв фотонных кристаллов, находящихся в контакте с тонкими металлическими пленками. В таких гибридных металлодиэлектрических системах происходит перенос энергии вдоль границы металл – диэлектрик поверхностными плазмон-поляритонами, что позволяет существенно расширить функциональные возможности управления потоками электромагнитного излучения. Учитывая возможности практического применения таких гибридных систем, исследование физических процессов в них, безусловно, является **актуальной** задачей.

Целью данной работы являлось не только получение новых нанокomпозитов на основе пористых диэлектрических матриц (цеолитов, опалов, асбестов, пористого оксида алюминия), но и установление влияния типов матриц, условий диспергирования вещества-гостя, а также последовательности расположения слоев в гибридных металлодиэлектрических системах на оптические и электрические свойства нанокomпозиционных материалов.

Для решения поставленных задач использовались такие экспериментальные методы, как сканирующая зондовая и электронная микроскопия, оптическая спектроскопия пропускания и отражения с угловым разрешением, спектральная эллипсометрия, электротермодиффузия, измерение электрических характеристик образцов (в том числе – микрорекристаллов) на постоянном и переменном токе.

По теме диссертации имеется **12 публикаций**, 7 из них – статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ / индексируемых в международных базах данных. Промежуточные этапы исследования обсуждались на **11 представительных научных конференциях**.

Основные результаты получены самим автором или при его непосредственном участии. Цветков А.В. внес существенный вклад в постановку научных задач диссертации, обработку и анализ экспериментальных данных, интерпретацию полученных результатов, а также в написание статей В исследованиях, проведенных в соавторстве, автор принимал активное участие в планировании экспериментов и обсуждении результатов. Таким образом **личный вклад автора** также не вызывает сомнения.

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и списка литературы.

Во «**Введении**» обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Обзор литературы» проведен анализ методов получения наноструктур. Подробно описан матричный метод, предложенный профессором ФТИ им. А.Ф. Иоффе В.Н. Богомоловым, позволяющий внедрять различные вещества в полости и каналы регулярных пористых диэлектрических матриц (цеолитов, опалов, асбестов и др.), получать ансамбли идентичных, упорядоченно расположенных наночастиц с высокой концентрацией и ультрамалыми размерами и проводить экспериментальные исследования физических свойств матричных нанокomпозиционных материалов. Рассмотрены также основные особенности фотонных кристаллов и поверхностных плазмон-поляритонов в металлодиэлектрических системах.

Во второй главе «Объекты и методы исследования» описана структура используемых регулярных пористых диэлектрических матриц, методы получения образцов нанокomпозиционных материалов и экспериментального исследования их физических свойств.

Третья глава «Электрические и оптические свойства матричных нанокomпозитов на основе цеолитов, опалов, асбестов и пористого оксида алюминия» посвящена результатам исследования электрических и оптических свойств изученных систем и их обсуждению.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы.

Достоверность и научная обоснованность полученных результатов в достаточной мере обеспечена комплексным подходом, сочетающим целый набор взаимодополняющих методик, повторяемостью результатов измерений, использованием надежных современных методов и теоретических моделей (подходов) обработки и анализа данных.

Научная значимость и новизна работы заключается в развитии методов изготовления и модификации матричных нанокomпозиционных материалов. Электрическими и оптическими методами определены физические характеристики матричных композиционных материалов, полученных диспергированием различных веществ (полупроводников, металлов и полуметаллов) в системах полостей и каналов

цеолитов (I / NaA, M–Bi), асбестов (I / асбест) и опалов (Ag / опал, Sn / опал), синтезом иодида меди в матрице пористого оксида алюминия.

Практическая значимость работы.

В диссертации показано, что оптические свойства нанокompозитов Ag / опал, Sn / опал существенно зависят от условий введения (температуры, напряженности электрического поля, длительности процесса электротермодиффузии) вещества-гостя (металла) в матрицу опала и последовательности слоёв. Этот результат имеет практическое значение для развития технологии приготовления гибридных плазмон-фотонных гетерокристаллов, позволяющих расширить функциональные возможности фотонных кристаллов.

В целом работа написана логично, грамотно и последовательно и оставляет хорошее впечатление. Тем не менее есть и ряд **недочетов, вопросов и замечаний** по данной диссертационной работе:

1. Стр. 36 Перечислены места локализации катионов в цеолите типа X, но рисунок отсутствует.
2. Стр. 42 Структурная формула асбеста не приведена.
3. Стр. 54 Рис. 2.7 Величина углового разрешения установки пропущена.
4. Изображения на Рис.3.26 и 3.27 в достаточной мере не обсуждены.
5. На некоторых рисунках (например, 3.18, 3.22, 3.28) не мешало бы выделить разные кривые либо типом линий, либо цветом, либо стрелкой.
6. Не указаны ошибки определения энергий активаций на рис.3.5 и 3.6.
7. Стр. 57 Как определялось давление паров йода не указано.
8. Стр. 93 Формула 3.2 содержит только два вклада (от скелета матрицы и введенного материала), хотя известно, что заполнение пор не бывает 100 %, и всегда остается пустое поровое пространство.

Указанные замечания не снижают общей **положительной оценки** диссертационной работы, в которой получены важные результаты.

Работа является **законченным научным трудом**, в котором содержится решение задач, имеющих существенное значение для развития физики конденсированного состояния.

Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации. Диссертация **соответствует специальности 1.3.8** – физика конденсированного состояния.

В целом диссертационная работа А.В. Цветкова является **законченным научным и квалификационным исследованием**. По актуальности, научной новизне, практической значимости и обоснованности выводов, диссертация «Структура, электропроводность и оптические характеристики нанокompозитов на основе регулярных пористых матриц цеолитов и металлодиэлектрических систем на основе опалов» полностью отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного

постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции от 28.08.2017). Соискатель Цветков Александр Витальевич **заслуживает присуждения ученой степени** кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

2 ноября 2023 г.

Д.ф.-м.н. (научная специальность 01.04.04 – Физическая электроника), доцент, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН»

/ Набережнов Александр Алексеевич /

Адрес: 194021 Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26.

тел.: +7(921) 750-3583

e-mail: alex.nabereznov@mail.ioffe.ru

Зам. директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

Д.ф.-м.н.

/Брунков Павел Николаевич/