

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Чукавина Андрея Игоревича** «Локальная атомная структура и оптические свойства наноструктур на основе твердых растворов  $ZnS_xSe_{1-x}$  в матрицах пористого  $Al_2O_3$ », представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

В настоящее время большое внимание уделяется получению и исследованию полупроводниковых наноструктур с заданными оптическими свойствами. В связи с этим, особый интерес представляют наноструктуры полупроводниковых твердых растворов  $AB_xC_{1-x}$ , в которых, варьируя соотношение элементов В и С, можно контролируемо изменять ширину запрещенной зоны  $E_g$  материала. Кроме того, получение наноструктур определенных размеров является ещё одним подходом для изменения ширины запрещенной зоны. Отдельного внимания достойны полупроводниковые наноструктуры, полученные в диэлектрической матрице, в частности за счёт возникновения в таких структурах эффекта диэлектрического усиления экситонов. Изучение нанокompозитных систем с включениями твердых растворов  $ZnS_xSe_{1-x}$ , безусловно, является актуальной задачей физики конденсированного состояния. Диссертационная работа Чукавина А. И. нацелена на установление закономерностей влияния состава твердых растворов  $ZnS_xSe_{1-x}$  и размеров пор матрицы пористого оксида алюминия на морфологию, локальную атомную структуру и оптические свойства нанокompозитов на основе твердых растворов  $ZnS_xSe_{1-x}$  в матрицах пористого анодного оксида алюминия, полученных высоковакуумным термическим напылением. Таким образом, можно заключить, что тема диссертации является **актуальной**.

Диссертация Чукавина А. И. включает в себя введение, 5 глав, заключение и список литературы, содержащий 196 наименований. Объем диссертации составляет 117 страниц.

Во введении приведено обоснование актуальности работы, сформулирована цель и задачи, отмечена научная и практическая значимости полученных результатов, а также сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводится литературный обзор. Современное состояние исследований по теме диссертации отражено достаточно полно. На основе проведенного анализа литературных данных автор делает вывод о том, что в современной литературе отсутствуют разработанные методики по формированию наноструктур твердого раствора  $ZnS_xSe_{1-x}$  пространственно-упорядоченно расположенных в диэлектрической матрице, а также, что для

таких структур не изучены особенности локальной атомной структуры и оптических свойств.

Вторая глава посвящена описанию методики синтеза нанокompозитов  $ZnS_xSe_{1-x}$ @ПАОА, а также описанию используемых экспериментальных методов. Предложено получать упорядоченный массив наночастиц в матрице пористого оксида алюминия при помощи стандартного для планарной технологии метода термического высоковакуумного напыления. В качестве испаряемого материала использовалась смесь порошков ZnS и ZnSe. В работе используются современные апробированные методы такие, как рентгеновская дифракция, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, абсорбционный спектральный анализ, сканирующая электронная микроскопия. Одной из особенностей работы является применение EXAFS-спектроскопии.

Третья глава посвящена исследованиям структуры и химического состава объектов исследования. На основе данных рентгеновской дифракции и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии автором делается вывод, что состав твердых растворов  $ZnS_xSe_{1-x}$  можно контролируемо задавать путем изменения соотношения между селенидом и сульфидом цинка в смеси испаряемых порошков.

Четвертая глава посвящена исследованиям нанокompозитов  $ZnS_xSe_{1-x}$ @ПАОА методом EXAFS-спектроскопии. Приведены данные о локальной атомной структуре полученных образцов. Построены зависимости радиусов 1-ой и 2-ой координационной сферы от состава. Автором отмечается, что парциальные длины химических связей Zn-S и Zn-Se в нанокompозитах сохраняют свои значения близкими к тем, что в крайних составах ZnS и ZnSe, но при этом на уровне дальнего порядка по данным рентгеновской дифракции выполняется правило Вегарда. Делается вывод о наличии значительных локальных искажений в исследуемых образцах.

Результаты исследования оптических свойств полученных нанокompозитов приводятся в пятой главе. В работе анализируются спектры поглощения композитов в сравнении со спектрами поглощения тонких пленок на стекле, полученных при аналогичных условиях. Автором получены зависимости оптической ширины запрещенной зоны  $E_g(x)$  от состава, при этом отклонение от зависимости линейной которых автор связывает с локальными искажениями кристаллической решетки. Показано, что полученные структуры обладают при комнатной температуре стабильными экситонами, с энергиями связи, лежащими в диапазоне от 130 до 250 мэВ, в зависимости от состава и размеров наночастиц твердого раствора. Такое усиление экситонных эффектов автор объясняет проявлением эффекта диэлектрического усиления экситонов.

**О достоверности** приведенных в диссертации результатов исследований свидетельствует использование современных методик получения

экспериментальных результатов, апробированного оборудования. Результаты работы опубликованы в рецензируемых научных журналах, в том числе входящих в список изданий, рекомендованных ВАК, опробовались на международных и всероссийских конференциях. Всё вышеперечисленное подтверждает признание работы научным сообществом, и говорит о том, что её выводы не противоречат современным научным представлениям.

**Научная и практическая значимость** полученных в диссертационной работе Чукавина А. И. обусловлена тем, что впервые методом EXAFS-спектроскопии определены параметры локальной атомной структуры твердого раствора  $ZnS_xSe_{1-x}$ , синтезированного в матрице пористого анодного оксида алюминия, в зависимости от состава твердого раствора  $x$  и от диаметров пор матрицы. Полученные данные свидетельствуют о наличии значительных локальных отклонений от усредненной кристаллической структуры в твердых растворах  $ZnS_xSe_{1-x}$ . Также интересной особенностью работы является то, что впервые в наноструктурах твердого раствора  $ZnS_xSe_{1-x}$ , синтезированного в матрице пористого анодного оксида алюминия, обнаружены оптические переходы с образованием экситонов при комнатной температуре.

Содержание автореферата полностью соответствует тексту диссертации. Выносимые на защиту положения соответствуют основным результатам работы.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Во второй главе при исследовании упорядоченных столбчатых наноструктур  $ZnS_xSe_{1-x}$  методом СЭМ получен интересный экспериментальный результат: «глубина проникновения материала в пору примерно равняется диаметру поры». К сожалению, в работе отсутствуют какие-либо объяснения по этому поводу.

2. По данным рентгенофазового анализа исследуемые пленки представляют собой смесь вюрцитной и сфалеритной фазы. Наряду с различием длин связей Zn-S и Zn-Se наличие двух фаз также приведет к локальным искажениям кристаллической структуры  $ZnS_xSe_{1-x}$ @ПАОА, однако в работе акцент сделан только на различии длин связей.

3. Рост энергии связи экситона с уменьшением размера наночастиц объясняется возрастанием вклада диэлектрического окружения. Здесь необходимо сравнение с аналогичными исследованиями пленок с удаленным оксидом алюминия.

**В заключении** стоит отметить, что диссертационная работа Чукавина Андрея Игоревича «Локальная атомная структура и оптические свойства наноструктур на основе твердых растворов  $ZnS_xSe_{1-x}$  в матрицах пористого  $Al_2O_3$ » представляет собой законченную научно-квалификационную работу в области физики конденсированного состояния, которая **соответствует**

требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе критериям II раздела Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а её автор, Чукавин Андрей Игоревич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

28.05.2019г.

Крылов Петр Николаевич,  
кандидат физико-математических наук  
(специальность 01.04.07 –  
«Физика конденсированного состояния»),  
доцент, ФГБОУ ВО «Удмуртский  
государственный университет»,  
кафедра Физики твердого тела,  
заведующий

426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1,  
корп. IV, ауд. 104а  
Телефон: +7(3412)91-61-33, +7(3412)91-61-34  
e-mail: ftt@udsu.ru

Подпись П.Н. Крылов Ученый секретарь УС УдГУ  
заверяю. Военкова Н.Ф.



подпись Крылова  
верна: ведущий документовед  
отдела делопроизводства. Мурина И.М.

Мурина И.М.