

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.435.01, СОЗДАННОГО НА  
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮГО-  
ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»,  
МИНОБРНАУКИ РОССИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 23.05.2024 г. № 4

О присуждении Новикову Евгению Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Микро- и наноструктурирование пленок из стабилизированных квантовых точек CdSe/CdS/ZnS» по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния принята к защите 21.03.2024 г. (протокол № 3) диссертационным советом 24.2.435.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет», Минобрнауки России, адрес: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94, приказ о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012 года.

Соискатель Новиков Евгений Александрович 1995 года рождения. В 2018 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курский государственный университет» с присуждением квалификации «магистр» по специальности 44.04.01 «Педагогическое образование» (профиль: теория и методика обучения математике), в 2022 г. окончил аспирантуру очной формы обучения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет» по специальности 04.06.01 «Химические науки» (профиль: физическая химия). Работает преподавателем кафедры нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики, а также (по внутреннему совместительству) младшим научным сотрудником Регионального центра нанотехнологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет», Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет», Минобрнауки России.

Научный руководитель – Кузьменко Александр Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Регионального центра нанотехнологий, профессор кафедры нанотехнологий,

микроэлектроники, общей и прикладной физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет».

*Официальные оппоненты:*

1. Буга Сергей Геннадьевич, доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов», главный научный сотрудник лаборатории алмазной электроники, г. Троицк.

2. Емельянов Никита Александрович, кандидат физико-математических наук, федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, старший научный сотрудник лаборатории функциональных материалов для электроники и медицины, г. Черноголовка.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»), г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Костишиным Владимиром Григорьевичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой технологии материалов электроники, и утверждённом Филоновым Михаилом Рудольфовичем, доктором технических наук, профессором, проректором по науке и инновациям НИТУ «МИСиС», указала, что тема диссертационной работы Новикова Евгения Александровича является актуальной, фундаментальной и практически значимой, так как при понижении размерности у материалов становятся существенными изменения физических свойств. Нанопленочные структуры из квантовых точек, полученные методами центрифугирования и Ленгмюра–Блоджетт и всесторонне исследованные в данной диссертационной работе, в этой связи, не являются исключением.

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, в том числе, по теме диссертации 13 работ общим объемом 4.2/1.9 печатных листа, в том числе, 7 – в рецензируемых научных журналах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1) Novikov E., Kuzmenko A., Pugachevskii M., Rodionov V., Zavodinsky V., Gorkusha O., Krylsky D., Than M. M. Spatiotemporal analysis of structured Langmuir films formed from stabilised CdSe/CdS/ZnS quantum dots // Materials Letters. – 2023. – V. 333. – P. 133472.

2) Кузьменко А. П., Новиков Е. А., Пугачевский М. А., Родионов В. В., Заводинский В. Г., Горкуша О. А., Сюй А. В., Аникин Д. П. Многомасштабное структурирование квантовых точек CdSe/CdS/ZnS в центрифугированных и ленгмюровских пленках // Журнал технической физики. – 2023. – Т. 93. – № 8. – С. 1134-1142.

3) Кузьменко А. П., Новиков Е. А., Пугачевский М. А., Емельянов В. М., Шутяева О. И. Центрифугированные пленки из микрокапсулированных квантовых точек CdS // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2019. – Т. 9. – №3. – С. 88-107.

4) Кузьменко А. П., Новиков Е. А., Родионов В. В., Кузько А. В., Аникин Д. П., Крыльский Д. В. Кинетика формирования ленгмюровских пленок из

стабилизированных квантовых точек CdSe/CdS/ZnS // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2021. – Т. 11. – №2. – С. 86-103.

5) Кузьменко А. П., Локтионова И. В., Абакумов П. В., Новиков Е. А., Сизов А. С., Кузько А. В. Особенности поляризации ленгмюровских пленок титаната бария при электрическом воздействии // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2022. – Т. 12. – №1. – С. 174-189.

6) Кузько А. В., Кузько А. Е., Кузьменко А. П., Корниенко Н. Е., Новиков Е. А., Зубарева М. О. Состав и физико-механические свойства термореактивных стеклопластиков // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2022. – Т. 12. – № 3. – С. 105-117.

7) Новиков Е. А., Кузьменко А. П., Родионов В. В., Емельянов В. М., Аникин Д. П., Неручев Ю. А. Влияние концентрации  $\text{Ce}^{3+}$  и размеров кристаллических частиц YAG на фотолюминесценцию // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2024. – Т. 14. – №1. – С. 59-75.

На диссертацию и автореферат поступили 9 отзывов от:

1. доктора физико-математических наук, Буги Сергея Геннадьевича; отзыв положительный, имеются следующие замечания: 1) в диссертационной работе представлены результаты исследования получаемых нанопленок из квантовых точек методами колебательной спектроскопии. В обзорной части рассмотрен вопрос о причинах значительного снижения эффективности комбинационного рассеяния света при исследовании таких объектов. Очевидно, что такие же проблемы возникают и при использовании ИК-спектроскопии. Однако соискателем недостаточно полно раскрыта методика измерения именно ИК-спектров и конкретно способ увеличения полезного сигнала до уровня, достаточного для проведения спектрального анализа; 2) для характеристики процессов в ленгмюровском монослое квантовых точек при перемещении барьеров важен параметр «удельная площадь» ( $A$ ), в то время как все изотермы сжатия приведены в координатах  $\pi(t)$ . Было бы целесообразно на графиках наряду с осью времени  $t$  привести и ось удельной площади  $A$ ; 3) на рис. 4.20, в подписи к нему и в сопровождающем тексте относительно элементного состава пленок, содержащих квантовые точки CdSe/CdS/ZnS, ошибочно вместо серы (S) указан фосфор (P), который может восприниматься как компонент растворителя. Однако, судя по смыслу текста, это повторяющаяся в нескольких местах опечатка, которая, тем не менее требует разъяснения; 4) в важном разделе 5.4. «Использование квантовых точек для изменения характеристик светодиодов» на рис. 5.16 а) приведено только флуоресцентное микроскопическое изображение геля-люминесцентной смеси с квантовыми точками. Было бы уместно также провести анализ изображений квантовых точек и их агломератов с помощью растровой электронной микроскопии.

2. кандидата физико-математических наук Емельянова Никиты Александровича; отзыв положительный, имеются следующие замечания: 1) помимо всех рассмотренных автором параметров осаждения пленок из

стабилизированных квантовых точек, важным фактором является материал используемой подложки, однако ему в работе явно уделено недостаточное внимание: в некоторых случаях лишь отмечается, что использовалась кремниевая подложка; 2) при исследовании наноструктурирования осаждаемых пленок большое внимание уделяется исследованиям методами зондовой микроскопии. При анализе полученных данным методом изображений подчеркивается «завышение латеральных размеров структур из-за ненулевого радиуса причем особенно подчеркивается иглы кантилевера». Однако работа не содержит информации об использованных для исследования марках кантилеверов, в том числе их типичных радиусах закругления зонда; 3) для анализа однородности получаемых структур предложена методика, включающая монохроматизацию и цифровую обработку изображений конфокальной микроскопии (Рисунок 3.7). При этом не обсуждается разрешение, с которым получают изображения. Не приводятся сведения об использованных объективах и источниках излучения. Съемка образца на различной глубине фокальной плоскости как раз позволяет реконструировать трехмерное изображение поверхности, при этом, для повышения разрешающей способности могут быть использованы монохроматические лазерные источники. Таким образом, предложенная методика скорее применима к методам световой микроскопии в отсутствие доступа к конфокальным приборам. Вообще, метод оптической конфокальной микроскопии, как и угловой микроскопии Брюстера, не обсуждаются в главе 2 при изложении использованных экспериментальных методов, хотя далее автором активно используются их результаты; 4) при обсуждении ИК-поглощения слоя стабилизированных квантовых точек приводится спектр (Рисунок 4.22), на котором некоторые обсуждаемые пики, например  $880\text{ см}^{-1}$  и  $547\text{ см}^{-1}$  рассмотреть крайне затруднительно; 5) в заключительной главе описано использование квантовых точек в светодиодных технологиях для повышения индекса цветопередачи. При этом квантовые точки задействованы здесь в виде коллоидной системы, а не в виде пленок, как это заявлено в названии диссертационной работы. Это обстоятельство делает пятую главу несколько обособленной и идущей в отрыве от основного содержания работы. Кроме того, пункты 1 и 2 данной главы носят обзорный характер, и, скорее, должны быть отнесены к главе 1; 6) язык изложения материала. Использование автором большого количества англоязычных аббревиатур, в особенности таких, для которых в русском языке терминология давно сложилась, затрудняет восприятие текста работы, особенно 1 и 2 глав. Многочисленные «x-rays» – термину рентгеновское излучение более 100 лет, «RS-спектрометре» и тут же, абзацем ниже – рамановские лучи, «IR-излучение» и тут же ИК-поглощение. Наряду с этим, в русском языке автор допускает неточности, приводя следующие термины: «экситон Бора», «вращательно-колебательное состояние электрона», «мосгидридная эпитаксия».

3. ведущей организации; отзыв положительный, имеются следующие замечания: 1) в представленной диссертационной работе приведены результаты исследования латеральных, оптических характеристик получаемых нанопленок. Однако для практического применения важным является и наличие данных об

их прочностных, адгезионных и механических свойствах. В работе не было уделено внимания этому вопросу; 2) целесообразно было бы исследовать наличие/отсутствие агрегации квантовых точек на границе раздела «воздух-вода» путём получения гистерезиса сжатия-растяжения лентгмюровского монослоя; 3) во второй главе рассмотрено достаточно большое количество экспериментальных методов, используемых в работе для исследования коллоидных систем и нанопленок, в то время как портативный спектрофотометр упоминается только в пятой главе без описания его принципов и методик работы.

4. доктора физико-математических наук, профессора кафедры электротехники и электроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тихоокеанский государственный университет» (г. Хабаровск) Жукова Евгения Александровича; отзыв положительный, имеются следующие замечания: 1) в главе 3 сделано допущение о малости угла смачивания подложки коллоидной системой квантовых точек на основании значения этого угла ( $23^\circ$ ), однако фактически данное значение не позволяет принять высоту капли коллоидной системы постоянной на всей площади соприкосновения; 2) несмотря на то, что в диссертационной работе отмечается потенциальная возможность использования различных материалов подложки, зависимость структуры получаемых нанопленок от типа подложки не исследовалась (использовался лишь монокристаллический кремний);

5. доктора физико-математических наук, профессора кафедры микро- и нанoeлектроники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (г. Санкт-Петербург) Мошников Вячеслава Алексеевича; отзыв положительный, имеется следующее замечание: вывод уравнения движения квантовых точек при центрифугировании осуществляется посредством целого ряда приближений и допущений, что вызывает вопрос относительно точности и достоверности полученного уравнения;

6. доктора физико-математических наук, профессора кафедры физики низких температур и сверхпроводимости федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ) (г. Москва) Кульбачинского Владимира Анатольевича; отзыв положительный, имеется следующее замечание: работу хорошо бы дополнило определение гидродинамического радиуса квантовых точек, их агрегатов и агломератов методом динамического рассеяния света;

7. доктора физико-математических наук, профессора кафедры «Нанотехнология» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» (г. Ростов-на-Дону) Рудской Анжелы Григорьевны; отзыв положительный, имеется следующее замечание: количественная оценка присутствия сфалеритной и вюрцитной фаз в сформированных нанопленках была проведена только с помощью рентгеноструктурного анализа, хотя ее

следовало бы дополнить и уточнить данными гиперспектрального распределения по результатам микроспектрального комбинационного рассеяния;

8. доктора физико-математических наук, профессора, директора и главного научного сотрудника Уральского ЦКП «Современные нанотехнологии» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург) Шура Владимира Яковлевича; отзыв положительный, имеется следующее замечание: автором изучено влияние ограниченного набора управляющих параметров формирования ленгмюровских и центрифугированных нанопленок: частота и длительность центрифугирования, концентрация и объём коллоидной системы, температура субфазы и скорость движения барьеров. Представляется целесообразным рассмотреть влияние ряда дополнительных факторов, таких как тип подложки, влажность окружающей среды, кислотность субфазы, скорость подъёма/опускания диппера;

9. доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника, заведующего лабораторией наноструктур и оптических покрытий отделения ИПЛИТ – Шатура Курчатовского комплекса «Кристаллографии и фотоники» (г. Шатура) Новодворского Олега Алексеевича; отзыв положительный, имеются следующие замечания: 1) соискателем не указаны причины того, почему полученные им изотермы сжатия ленгмюровского монослоя на основе стабилизированных квантовых точек не содержат характерных плато, отвечающих фазовым переходам; 2) для описания движения квантовых точек при центрифугировании было составлено уравнение, учитывающее центробежную силу и силу вязкого трения, однако немаловажные силы поверхностного натяжения и ван-дер-ваальсового взаимодействия не учтены; 3) координатные оси на рисунке 6 автореферата имеют подписи на английском языке. Для русскоязычной работы уместно иметь переведённое на русский язык обозначение осей, либо (что более предпочтительно) буквенное обозначение величин.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обуславливается их авторитетностью и компетентностью в области получения и исследования свойств полупроводниковых наноструктур.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

*установлены* параметры и режимы формирования нанопленок из стабилизированных квантовых точек CdSe/CdS/ZnS методами центрифугирования и Ленгмюра–Блоджетт;

*предложен* реально-временной механизм последовательно протекающей коагуляции стабилизированных квантовых точек в коллоидной системе с образованием агрегатов/агломератов и их распада на отдельные квантовые точки на водной поверхности;

*впервые доказан* размерно-эмиссионный механизм как коротковолнового, так и длинноволнового стоксова сдвига фотолюминесценции частиц люминофора на основе иттрий-алюминиевого граната.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

*доказана реализация сценария: «наночастица–агрегат–агломерат» при формировании легмюровских пленок из коллоидной системы стабилизированных триоктилфосфиноксидом квантовых точек CdSe/CdS/ZnS;*

*применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы комбинаторной геометрии, позволившие теоретически установить опытно подтвержденный момент формирования максимально плотной пленочной структуры из квантовых точек в виде гексагональной упаковки;*

*изложено описание режимов и условий формирования центрифугированных и легмюровских пленок из стабилизированных квантовых точек CdSe/CdS/ZnS;*

*изучены химическая и кристаллическая структура, а также морфология сформированных нанопленок из стабилизированных квантовых точек CdSe/CdS/ZnS.*

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждаются тем, что:

*разработаны и внедрены методические указания к лабораторным и практическим работам для обучения студентов и аспирантов;*

*созданы методами центрифугирования и Легмюра–Блоджетт и изучены нанопленки из стабилизированных триоктилфосфиноксидом квантовых точек CdSe/CdS/ZnS, востребованные в микро- и нанoeлектронике при создании устройств и элементов нового поколения;*

*предложена оригинальная методика анализа качества сформированных нанопленочных структур по их растровым конфокальным изображениям;*

*доказано повышение индекса цветопередачи светоизлучающих устройств за счет введения квантовых точек CdSe/CdS/ZnS.*

Оценка достоверности результатов исследования подтверждается тем, что:

*использованы апробированные экспериментальные методики и современные аналитические методы;*

*использовано сопоставление полученных результатов независимых экспериментов с использованием комплекса аналитических методов, включая сравнение с данными и выводами других авторов на аналогичных образцах;*

*установлено обоснованное качественное, количественное совпадение полученных данных с теоретическими выводами;*

*использованы современные стандартные аппаратные и программные средства сбора, обработки экспериментальных данных.*

*Личный вклад соискателя состоит в формулировке целей и задач, научной гипотезы, выборе методов и моделей исследования, поиске и систематизации информационно-аналитического материала, и его научной обработке. В работах, опубликованных в соавторстве, автору принадлежат: получение пленочных образцов, подготовка и проведение экспериментов, получение и анализ экспериментальных данных. Обсуждение полученных результатов и подготовка работ к печати проводились при участии научного руководителя. Основные результаты диссертации получены лично автором.*

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: некорректное употребление понятия запрещённой зоны в ходе проведения модельных расчётов *ab initio*; неправомерность описания движения квантовой точки при центрифугировании линейным дифференциальным уравнением второго порядка.

Соискатель ответил на заданные ему вопросы и аргументировал подход к составлению дифференциального уравнения, которому подчиняется движение квантовой точки.

На заседании 23.05.2024 г. диссертационный совет принял решение за результаты работы по исследованию процессов микро- и наноструктурирования центрифугированных и ленточных гетерофазных моно- и мультислойных плёнок из квантовых точек CdSe/CdS/ZnS, востребованных при изготовлении оптических датчиков, сенсоров, светодиодов, элементов и устройств фотоники или их прототипов, присудить Новикову Евгению Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 13, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председательствующий  
диссертационного совета  
24.2.435.01

Пугачевский Максим Александрович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
24.2.435.01

Кочура Алексей Вячеславович

«23» мая 2024 года

