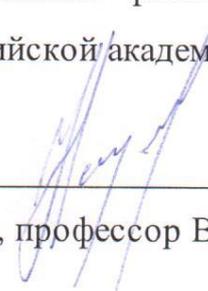


УТВЕРЖДАЮ:
Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра
химической физики им. Н.Н. Семенова
Российской академии наук



д.х.н., профессор В.А. Надточенко

" 1 " сентября 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра химической физики
им. Н.Н. Семенова Российской академии наук

Диссертация «Пленки оксида цинка, допированные ионами лантаноидов и углеродными наноструктурами: оптические свойства и взаимодействие с биомакромолекулами» выполнена Борулевой Екатериной Алексеевной в лаборатории фотобионики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (ФИЦ ХФ РАН).

В ФИЦ ХФ РАН Борулева Е.А. работает с 11.05.2021 г. по настоящее время в должности инженера.

В 2017 году окончила магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» с отличием по специальности «Лазерная физика».

В период подготовки диссертации соискатель Борулева Екатерина Алексеевна обучалась в очной аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» по специальности «Лазерная физика» (01.04.21) по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия» с 01.09.2017 по 01.08.2021 г. с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Удостоверение №7 о сдаче кандидатских экзаменов выдано 30.08.2022 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Федеральным исследовательским центром химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук.

Научный руководитель Лобанов Антон Валерьевич – доктор химических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук.

Тема диссертационной работы и научный руководитель утверждены Приказом №6А директора ФИЦ ХФ РАН В.А. Надточенко от 30.05.2021 г.

По результатам рассмотрения диссертации «Пленки оксида цинка, допированные ионами лантаноидов и углеродными наноструктурами: оптические свойства и взаимодействие с биомакромолекулами» принято следующее заключение.

Оценка выполненной работы

Диссертация Борулевой Е.А. является законченной научно-квалификационной работой, которая выполнена на актуальную тему – исследования оптических и структурных свойств новых многокомпонентных пленок на основе оксида цинка, и их взаимодействие с биомакромолекулами, что значительно расширяет диапазон физико-химических представлений о механизмах взаимодействия допантов и биомакромолекул с наночастицами оксида цинка и дает возможность для практического применения тонких пленок оксида цинка с допантами в фотопреобразующих устройствах.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Личный вклад диссертанта

Борулева Е.А. в процессе работы над диссертацией проявила себя как грамотный и высококвалифицированный специалист и ученый, способный решать поставленные задачи, планировать и выполнять научный эксперимент, компетентно интерпретировать и анализировать полученные результаты, аргументировано предлагать для реализации. Борулева Е.А. разработала методику получения тонких пленок с допантами и с биомакромолекулами, самостоятельно исследовала их оптические и структурные свойства методами спектроскопии и микроскопии. В результате проведенного исследования Борулевой Е.А. был получен большой объем экспериментальных данных, представляющих научный и практический интерес, в том числе получен патент на изобретение нового тонкопленочного преобразователя солнечной энергии.

Результаты, полученные с участием Е.А. Борулевой, опубликованы во многих высокорейтинговых научных изданиях и представлены в устных и стендовых докладах на всероссийских и международных научных конференциях.

Степень достоверности полученных результатов

Для выполнения поставленных задач использовались современные апробированные химические и физические методы исследования: золь-гель синтез, метод спин-коатинга, абсорбционная и флуоресцентная спектроскопия, атомно-силовая и сканирующая электронная микроскопия. Статистическую обработку данных обеспечивала высокоточная компьютеризированная аппаратура.

Достоверность результатов подтверждена сопоставлением с данными других исследований, опубликованными статьями в высокорейтинговых научных журналах и открытым обсуждением сделанных соискателем докладов на всероссийских и международных конференциях.

Научная новизна работы и практическая значимость

Получены новые тонкие пленки на основе оксида цинка $\text{ZnO}:\text{SiO}_2$, допированные ионами лантаноидов (La^{3+} , Gd^{3+} , Tb^{3+}). Проведенные исследования по допированию $\text{ZnO}:\text{SiO}_2$ ионами лантаноидов позволили установить:

- изменение коэффициента пропускания в УФ и видимой областях, и увеличение прозрачности на 30-50%, что позволяет создавать новые композитные материалы для оптических приборов;

- увеличение интенсивности ультрафиолетовой люминесценции (УФЛ) $\text{ZnO}:\text{SiO}_2$ от 3 до 10 раз в зависимости от допанта, что важно для биосенсорных приложений;

- увеличение ширины запрещенной зоны при допировании почти на 0.5 эВ, что подтверждает эффект Бурштейна-Мосса в таких системах.

Впервые получены тонкие пленки на основе оксида цинка $\text{ZnO}:\text{SiO}_2$, допированные детонационными наноалмазами (ДНА). Доказано, что допирование пленок ДНА увеличивает прозрачность на 4-20%, уменьшает ширину запрещенной зоны на 0.05 эВ и приводит к возгоранию УФЛ $\text{ZnO}:\text{SiO}_2$ от 1.7 до 6 раз в зависимости от концентрации ДНА.

Впервые исследованы поликомпонентные системы, в которых ДНК используется в качестве матрицы при взаимодействии с ионами лантаноидов. Взаимодействие этих смесей с поверхностью допированных пленок ZnO:SiO₂, позволяет регистрировать малые концентрации биомакромолекул до 10⁻¹² г/л, что очень важно в биосенсорном анализе.

Ценность научных работ соискателя подтверждается многократным участием Е.А. Борулевой во всероссийских и международных конференциях: современные проблемы физики и технологий, МИФИ, (Москва, 2018 г.); 18th International Conference on Laser Optics ICLO, (Санкт-Петербург, 2018 г.); VII Всероссийский конгресс с международным участием «Фотодинамическая терапия и фотодиагностика», (Москва, 2018 г.); 3rd International Conference on Metamaterials and Nanophotonics METANANO (Сочи, 2018 г.); 11-th Chemistry Conference, (Пловдив, 2018 г.); Современные проблемы физики и технологий, МИФИ, (Москва, 2019 г.); VI Съезд биофизиков России, (Сочи, 2019 г.); International symposium fundamentals of laser assisted micro-&nanotechnologies, (Санкт-Петербург, 2019 г.); БФФХ-2020: материалы XV международной научной конференции, (Севастополь, 2020 г.); VII Международная конференция «Супрамолекулярные системы на поверхности раздела» (Туапсе, 2021 г.); 64-я Всероссийская научная конференция МФТИ (Москва, 2021 г.).

Результаты диссертационного исследования достаточно полно изложены в опубликованных работах:

1. Наговицын, И. А. Усиление флуоресценции наноразмерных пленок ZnO:SiO₂ под действием сывороточного альбумина человека / И. А. Наговицын, Г. К. Чудинова, А. В. Лобанов, **Е. А. Борулева**, В. А. Мошников, С. С. Налимова, И. Е. Кононова // **Химическая физика**. – 2018. – Том 37, № 8. – С. 29–35.
2. Бутусов, Л. А. Возможности и перспективы биосенсорных технологий в анализе продуктов питания / Л. А. Бутусов, Г. К. Чудинова, **Е.**

- А. Борулева**, М. В. Кочнева, В. И. Омельченко, А. В. Шорыгина, Т. А. Аликберова // **Вестник РУДН. Серия: агрономия и животноводство.** – 2018. – Том 13, № 1. – С. 70–77.
3. **Boruleva, E. A.** Optical properties of Gd^{3+} -doped $ZnO:SiO_2$ thin films / E. A. Boruleva, I. A. Hayrullina, I. A. Nagovitsyn, A. V. Khoroshilov, T. F. Sheshko, A. V. Lobanov and G. K. Chudinova // **Laser Physics Letters.** – 2019. – Vol. 16 – No 085901.
4. **Boruleva, E. A.** Optical studies of nanodiamonds interaction with some compounds important for medicine / E. A. Boruleva, G. K. Chudinova, I. A. Nagovitsyn // **Laser Physics Letters.** – 2019. – Vol. 16 – No 055601.
5. Hayrullina, I. A. Effect of DNA on Optical Properties of $ZnO:SiO_2:La^{3+}$ Films / I. A. Hayrullina, I. A. Nagovitsyn, **E. A. Boruleva**, A. V. Lobanov, G. K. Chudinova // **Laser Physics.** – 2020. – Vol. 30, № 12. – P. 125602.
6. **Boruleva, E. A.** Optical Properties of $ZnO:SiO_2:Tb^{3+}$ films: the effect of DNA / E. A. Boruleva, G. K. Chudinova, I. A. Hayrullina, I. A. Nagovitsyn, A. V. Khoroshilov, A. V. Lobanov // **Laser Physics Letters.** – 2021. – Vol. 18, №3.
7. **Борулева, Е. А.** Влияние ДНК на флуоресценцию композитных пленок ZnO , содержащих наноразмерные алмазы / Е. А. Борулева, И. А. Наговицын, Г. К. Чудинова, А. В. Лобанов // **Химическая физика.** – 2021. – Том 40, № 11. – С. 78–86.
8. Shulga, A. Fluorescent properties of Gd-doped ZnO nanoporous networks & its application in optical biosensing / A. Shulga, L. A. Butusov, **E. A. Boruleva**, G. K. Chudinova, T. F. Sheshko, V. V. Kurilkin, M. V. Kochneva // **IOP Conf. Series: J. Phys.: Conf. Ser.** – 2018. - Vol. 1092 – No 012136.
9. **Борулева, Е. А.** Исследование взаимодействия миоглобина с детонационными наноалмазами методом флуоресцентной спектроскопии / Е. А. Борулева, Л. А. Бутусов, Г. К. Чудинова // Сборник материалов конференции Современные проблемы физики и технологий, МИФИ. – Москва, 2018. – С. 51–52.

10. Shulga, A. Investigation of luminescent properties of thin zinc oxide films doped by cerium / A. Shulga, G. K. Chudinova, **E. A. Boruleva**, I. A. Nagovitsyn // 11-th Chemistry Conference, Plovdiv. 11–13 October 2018. – P. 108.

11. **Борулева, Е. А.** Оптические свойства пленок ZnO, легированных Tb³⁺ / Е. А. Борулева, Г. К. Чудинова, И. А. Наговицын // Современные проблемы физики и технологий, МИФИ. – 2019. – С. 71–72.

12. **Борулева, Е. А.** Оптический анализ пленок ZnO, допированных детонационными наноалмазами / Е. А. Борулева, Г. К. Чудинова, И. А. Наговицын, И. А. Хайруллина // VI Съезд биофизиков России. – 2019. – С. 241.

13. Хайруллина, И. А. Изменение люминесценции пленок ZnO:SiO₂:Tb³⁺ под действием ДНК / И. А. Хайруллина, **Е. А. Борулева**, И. А. Наговицын, А. В. Лобанов, Г. К. Чудинова // БФФХ-2020: материалы XV международной научной конференции (Севастополь, 2020 г.). – С. 152.

14. **Борулева, Е. А.** Взаимодействие пленок ZnO:SiO₂:Tb³⁺ с биомакромолекулами / Е. А. Борулева, А. В. Лобанов, И. А. Наговицын, Г. К. Чудинова // VII Международная конференция Супрамолекулярные системы на поверхности раздела, Туапсе. – 2021. – С. 65.

Диссертационная работа «Пленки оксида цинка, допированные ионами лантаноидов и углеродными наноструктурами: оптические свойства и взаимодействие с биомакромолекулами» Борулевой Е.А. является законченным научно-квалификационным исследованием, направленным на изучение оптических и структурных свойств тонких пленок оксида цинка с допантами и в комплексах с биомакромолекулами. Работа выполнена с применением современных химических и физических методов (золь-гель синтез, метод спин-коатинг, флуоресцентная и абсорбционная спектроскопия, атомно-силовая и сканирующая электронная микроскопия). Обработанные данные, полученные этими методами, позволили сделать ряд

выводов о вкладе допантов и биомакромолекул в структуру комплекса и их оптические свойства. Логичные выводы из работы, основанные на результатах, дают представление о значимых достижениях соискателя.

Диссертация написана самостоятельно и обладает новыми научными данными. Основные результаты научной деятельности Борулевой Е.А. изложены в 7 статьях в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК. 7 тезисах докладов на конференциях. Получен 1 патент РФ, выигран грант Умник-19. Проведенные исследования и полученные результаты имеют научную ценность, так как они создают методологическую базу для исследования многокомпонентных тонких пленок на основе оксида цинка для фотопреобразующих устройств.

Диссертация Борулевой Е.А. «Пленки оксида цинка, допированные ионами лантаноидов и углеродными наноструктурами: оптические свойства и взаимодействие с биомакромолекулами» по теме, постановке задач, методам исследования и полученным результатам соответствует специальности 1.4.4. Физическая химия.

Диссертационная работа Борулевой Е.А. соответствует требованиям п.9-14 (об отсутствии заимствований без ссылок на источник и авторов) «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 в ред. Постановления Правительства РФ от 01.10.2018 г. №1168).

Диссертация Борулевой Екатерины Алексеевны на тему «Пленки оксида цинка, допированные ионами лантаноидов и углеродными наноструктурами: оптические свойства и взаимодействие с биомакромолекулами» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Заключение принято на заседании расширенного семинара по физической химии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук 31 августа 2022 г. На заседании

присутствовало 22 чел, из них 5 докторов наук по специальности физическая химия. Заключение принято единогласно.

Председатель заседания

д.х.н., профессор

О.Г.

Касаикина О.Т.

«31» августа 2022 г.