

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научно-

исследовательской работе

Федерального государственного

бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Саратовский национальный исследовательский

государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Алексей Александрович Короновский



» декабрь 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Саратовский национальный исследовательский

государственный университет имени Н.Г.Чернышевского»

по диссертации

Сагайдачной Елены Александровны

«Люминесцентные свойства апконверсионных частиц $\text{NaYF}_4:\text{Er}, \text{Yb}$ и перспективы их применения в качестве термодатчиков»

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 «Оптика», выполненной на кафедре оптики и биофотоники физического факультета ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

Соискатель Сагайдачная Елена Александровна в 2016 г. окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» по направлению подготовки «Оптотехника» с присвоением квалификации магистр.

В период подготовки диссертации с 01.09.2016 по 01.10.2020 г.г. соискатель обучался в аспирантуре ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, направленность «Оптика».

Диплом об окончании аспирантуры № 106431 0284633, выдан 1.10.2020 ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

В настоящий момент работает младшим научным сотрудником кафедры оптики и биофотоники.

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора №241-Д от 24.11.2016, переутверждена приказом ректора №126-Д от 16.09.2020.

Научный руководитель: Кочубей Вячеслав Иванович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры оптики и биофотоники физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», утвержденный приказом ректора №235-Д от 22.11.2016 года, представил положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на расширенном заседании кафедры оптики и биофотоники с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений СГУ и других научных учреждений.

На заседании присутствовали:

1. Тучин Валерий Викторович, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой оптики и биофотоники физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

2. Бабков Лев Михайлович, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой теоретической физики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

3. Глухова Ольга Евгеньевна, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой радиотехники и электродинамики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

4. Скрипаль Анатолий Владимирович, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой медицинской физики факультета nano- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

5. Генина Элина Алексеевна, д.ф.-м.н., профессор кафедры оптики и биофотоники физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

6. Дербов Владимир Леонардович, д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической физики физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

7. Кочубей Вячеслав Иванович, д.ф.-м.н., профессор кафедры оптики и биофотоники физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

8. Постнов Дмитрий Энгелевич, д.ф.-м.н., профессор кафедры оптики и биофотоники физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

9. Симоненко Георгий Валентинович, д.ф.-м.н., профессор кафедры оптики и биофотоники физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

10. Рябухо Владимир Петрович, д.ф.-м.н., профессор кафедры оптики и биофотоники физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

11. Зимняков Дмитрий Александрович, д.ф.-м.н., профессор кафедры физики Саратовского государственного технического университета имени Ю.А. Гагарина.

12. Правдин Александр Борисович, к.х.н., доцент кафедры оптики и биофотоники физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

13. Янина Ирина Юрьевна, к.ф.-м.н., доцент кафедры оптики и биофотоники физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

14. Дьяченко Полина Александровна, к.ф.-м.н., доцент кафедры оптики и биофотоники физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

15. Тучина Дарья Кирилловна, к.ф.-м.н., доцент кафедры оптики и биофотоники физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

16. Сагайдачный Андрей Александрович, к.ф.-м.н., доцент кафедры медицинской физики факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

17. Маркин Алексей Викторович, к.х.н., доцент института химии ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

18. Добдин С.Ю., к.ф.-м.н., доцент кафедры физики твёрдого тела, факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Рецензенты диссертации:

Зимняков Дмитрий Александрович, д.ф.-м.н., профессор, представил положительный отзыв;

Маркин Алексей Викторович, к.х.н., доцент, представил положительный отзыв.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

Диссертационная работа Сагайдачной Елены Александровны «Люминесцентные свойства апконверсионных частиц $\text{NaYF}_4:\text{Er}, \text{Yb}$ и перспективы их применения в качестве термодатчиков» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 01.04.05 «Оптика» представляет законченное исследование, посвященное изучению люминесцентных характеристик апконверсионных частиц $\text{NaYF}_4:\text{Er}, \text{Yb}$ и оценке возможности их применения для измерения температуры в глубине биологических объектов, и соответствует

требованиям п.9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» для кандидатских диссертаций.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена тем, что апконверсионные частицы являются многообещающим материалом для исследования свойств биологических тканей, фотодинамической терапии, визуализации клеток и тканей, создания микро- и наноразмерных температурных сенсоров, а также для локальной гипертермии с контролем температуры. Такие широкие перспективы определяются свойствами апконверсионных частиц: попаданием длины волны возбуждающего излучения в так называемое «окно прозрачности» биоткани (650-1300 нм), что приводит к уменьшению погрешности регистрации апконверсионной люминесценции, и чувствительностью спектра люминесценции к температуре.

Новизна исследований, проведенных в ходе диссертационной работы, состоит в следующем:

1) Разработана методика синтеза частиц с высокой интенсивностью апконверсионной люминесценции и возможностью управляемого варьирования размеров частиц в диапазоне 150 - 4450 нм с относительным стандартным отклонением 9%. Методика защищена патентом РФ.

2) Получены данные о влиянии температуры частиц на механизм формирования люминесценции и на ее спектр.

3) Получены данные о влиянии температуры отжига частиц на механизм формирования люминесценции.

4) Впервые исследовано влияние процессов поглощения и рассеивания люминесценции апконверсионных наночастиц в биологических тканях на точность определения температуры биологической ткани по спектрам люминесценции частиц.

5) Разработана методика коррекции регистрируемых спектров люминесценции апконверсионных частиц, позволяющая уменьшить погрешность определения их температуры.

Новизна полученных результатов подтверждается защитой их патентом на изобретение.

Практическая значимость полученных результатов заключается в следующем.

В результате исследования разработана методика синтеза частиц $\text{NaYF}_4:\text{Er}, \text{Yb}$ с высокой интенсивностью люминесценции. Исследовано влияние режима обработки полученных частиц для повышения эффективности их люминесценции. Разработаны рекомендации по получению калибровочной температурной зависимости. Разработан

алгоритм коррекции спектров апконверсионной люминесценции частиц, необходимой при определении температуры частиц в биологической ткани.

Полученные в работе результаты использовались при выполнении научных исследований по следующим грантам: «УМНИК» № 12719ГУ/2017, РФФИ № 18-32-00202, РФФИ (№19-12-00118).

Личный вклад соискателя заключается в разработке методики синтеза апконверсионных частиц NaYF_4 с воспроизводимыми свойствами, проведении экспериментальных исследований их люминесцентных характеристик при различных условиях, обработке и обобщении полученных результатов, формулировании выводов, написании статей. Постановка исследовательских задач и обсуждение результатов проведены под руководством профессора В.И. Кочубея.

Достоверность подтверждается хорошим соответствием результатов экспериментальных результатов с данными других исследовательских групп. Достоверность экспериментальных результатов была обеспечена применением современной измерительной аппаратуры и обработкой результатов измерений с использованием проверенных методов.

Апробация работы. Работа выполнена на кафедре оптики и биофотоники Саратовского государственного университета в период 2016-2020 годов. Работа выполнена на кафедре оптики и биофотоники Саратовского государственного университета им Н.Г. Чернышевского. Основные результаты представлены на 16 всероссийских и международных научных конференциях:

1. Saratov Fall Meeting - 2016, г. Саратов, Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, 27–30 сентября 2016 г.;
2. 4th International School and Conference «Saint-Petersburg OPEN 2017», г. Санкт-Петербург, 3-6 апреля 2017 г.;
3. VIII Съезд Российского фотобиологического общества, пос. Шепси, 10–15 сентября 2017;
4. Saratov Fall Meeting - 2017, г. Саратов, Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, 26–30 сентября 2017 г.;
5. X международная конференция молодых ученых и специалистов «Оптика-2017», г. Санкт-Петербург, 16-20 октября 2017 г.;
6. Всероссийская научная школа-семинар «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине 2017», г. Саратов, 15-16 ноября 2017 г.;
7. «УМНИК-2017» в рамках XXX Международной научной конференции Математические Методы в Технике и Технологиях ММТТ-30, Саратов, Саратовский

государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 31 октября - 2 ноября 2017 г.;

8. Biophotonics: Photonic Solutions for Better Health Care VI; SPIE Photonics Europe, Strasbourg, France, 22-26 апреля 2018 г.;

9. Nanoscale Imaging, Sensing, and Actuation for Biomedical Applications XV; SPIE BiOS, San Francisco, California, United States, 27 января – 1 февраля 2018 г.;

10. 5th International A.M. Prokhorov Symposium on Lasers in Medicine and Biophotonics, , г.Санкт-Петербург, 4-8 июня 2018 г.;

11. Saratov Fall Meeting – 2018, г. Саратов, Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, 24–29 сентября 2018 г.;

12. Всероссийская научная школа-семинар «Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами», г. Саратов, Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, 16–17 мая 2019 г.;

13. Dynamics and Fluctuations in Biomedical Photonics XVI; SPIE BiOS, San Francisco, California, United States, 2-7 февраля 2019 г.;

14. Saratov Fall Meeting – 2019, г. Саратов, Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, 23-27 сентября 2019 г.;

15. SPIE Photonics Europe, Online Only, France, 6-10 апреля 2020 г.;

16. Saratov Fall Meeting – 2020, г. Саратов, Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, 29 сентября – 2 октября 2020 г.

Диссертационная работа Сагайдачной Е.А. соответствует специальности 01.04.05 - Оптика.

По теме диссертации опубликовано 18 научных работ: 1 патент РФ, 8 статей в журналах, рекомендованных ВАК, 9 – в сборниках трудов конференций, из них 8 – в сборниках международных конференций входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science.

Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Sagaydachnaya E. A., Kochubey V. I., Konyukhova J. G. Influence of annealing temperature on the upconversion luminescence properties of NaYF₄:Er,Yb@SiO₂ particles // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2017. – Т. 917. – №3. – С. 032006.

2. Сагайдачная Е. А., Янина И. Ю., Кочубей В. И. Перспективы применения апконверсионных частиц $\text{NaYF}_4:\text{Er}, \text{Yb}$ для фототерапии // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика. – 2018. – Т. 18. – №. 4.

3. Янина И. Ю., Волкова Е. К., Сагайдачная Е. А., Кочубей В. И., Тучин В.В. Влияние рассеяния света на определение температуры биологической ткани по спектрам фотолюминесценции ап-конверсионных наночастиц // Квантовая электроника. – 2019. – Т. 49. – №. 1. – С. 59-62.

4. Sagaidachnaya E. A., Konyukhova J. G., Kazadaeva N. I., Doronkina A. A., Yanina I. Y., Skaptsov, A. A., Pravdin A.B., Kochubey V. I. Dependence of the luminescent properties of thermostabilized upconversion $\text{NaYF}_4:\text{Yb}, \text{Er}$ particles on the excitation power and temperature // Optical Engineering. – 2019. – Т. 59. – №. 6. – С. 061609.

5. Сагайдачная Е. А., Конюхова Ю. Г., Казадаева Н. И., Доронкина А. А., Янина И. Ю., Скапцов А. А., Правдин А.Б., Кочубей, В. И. Влияние методики гидротермального синтеза на интенсивность ап-конверсионной люминесценции субмикронных частиц $\beta\text{-NaYF}_4:\text{Er}^{3+}, \text{Yb}^{3+}$ // Квантовая электроника. – 2020. – Т. 50. – №. 2. – С. 109-113.

6. Мохаммед А.Х.М., Усталков С.О., Сагайдачная Е.А., Кочубей В.И., Скапцов А.А. Создание и свойства фантомов биологической ткани, содержащих наночастицы // Инженерный вестник Дона. – 2019. – №. 2 (53).

7. Скапцов А.А., Усталков С.О., Мохаммед А.Х.М., Захаревич А.М., Козырев А.А., Сагайдачная Е.А., Кочубей В.И. Применение люминесценции апконверсионных наночастиц $\text{NaYF}_4:\text{Yb}, \text{Er}$ для исследования динамики коагуляции белков // Оптика и спектроскопия – 2020. – Т. 128. – №. 7. – С. 943-949.

8. Sagaidachnaya E. A., Kochubey V. I. Effect of the temperature of $\text{NaYF}_4:\text{Er}, \text{Yb}$ upconversion particles on the formation of luminescence // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика. – 2020. – Т. 20. – №. 4.

Патент

9. Патент РФ № 2725581, 11.06.2019. Способ синтеза апконверсионных частиц $\text{NaYF}_4:\text{Er}, \text{Yb}$ // Патент России № 2725581. 02.07.2020. Бюл. № 19. / Кочубей В.И., Сагайдачная Е.А.

В других изданиях

10. Сагайдачная Е.А., Кочубей В.И. Ограничения применения апконверсионных частиц $\text{NaYF}_4:\text{Er}, \text{Yb}@\text{SiO}_2$ в качестве датчиков температуры. // Сборник трудов X международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика – 2017». – 2017.

11. Янина И.Ю., Волкова Е.К., Сагайдачная Е.А., Тучин В.В., Кочубей В.И. Флуоресцентные ап-конверсионные частицы $\text{NaYF}_4:\text{Yb}^{3+},\text{Er}^{3+}$ для термометрии биологических тканей // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2017: Материалы Всерос. школы-семинара. - 2017. – С.136-139.
12. Yanina I. Y., Volkova E. K., Sagaidachnaya E. A., Konyukhova J. G., Kochubey V. I., Tuchin, V. V. Comparison of temperature sensing of the luminescent upconversion and ZnCdS nanoparticles. / In Nanoscale Imaging, Sensing, and Actuation for Biomedical Applications XV (Vol. 10506, p. 1050616). International Society for Optics and Photonics (2018, February).
13. Sagaydachnaya E. A., Kochubey V. I. The tissue optical properties impact on measurement of luminescent particles temperature // 2018 International Conference Laser Optics (ICLO). – IEEE, 2018. – С. 565-565.
14. Yanina I. Y., Volkova E. K., Sagaydachnaya E. A., Navolokin, N. A., Mudrak D. A., Zakharevich A. M., Kochubey V. I., Tuchin V. V. Interaction of upconversion luminescent nanoparticles with tissues and organs // Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series. – 2018. – Т. 10685.
15. Yanina I. Y., Sagaidachnaya E. A., Vidyasheva I. V., Navolokin N. A., Kochubey V. I., Tuchin V. V. Phototoxicity and luminescence of the upconversion nanoparticles embedded in the cells // Dynamics and Fluctuations in Biomedical Photonics XVI. – International Society for Optics and Photonics, 2019. – Т. 10877. – С. 108770Y.
16. Янина И.Ю., Видяшева И.В., Сагайдачная Е.А., Наволокин Н.А., Кочубей В.И. Влияние покрытия флуоресцентных апконверсионных частиц оболочкой на их фототоксичность / Всероссийская научная школа-семинар «Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами» 2019: Материалы Всерос. школы-семинара. - 2019. – С.82-84.
17. Yanina I.Yu, Skaptsov A.A., Konyukhova Ju.G., Kazadaeva N.I., Sagaidachnaya E.A., Doronkina A.A., Pravdin A.B., Kochubey V.I. Temperature dependencies of the spectral characteristics of the skin // Proc. SPIE 11457, Saratov Fall Meeting 2019: Optical and Nano-Technologies for Biology and Medicine, 114570E (9 April 2020).
18. Yanina I.Yu., Skaptsov A.A., Konyukhova J.G., Kazadaeva N.I., Sagaidachnaya E.A., Doronkina A.A., Pravdin A.B., Kochubey V.I. Temperature-stimulated changes in the spectral characteristics of biological tissues // Proc.SPIE 11363, Tissue Optics and Photonics, 113631W (2 April 2020).

Диссертационная работа Сагайдачной Елены Александровны «Люминесцентные свойства апконверсионных частиц $\text{NaYF}_4:\text{Er}, \text{Yb}$ и перспективы их применения в качестве термодатчиков» может быть рекомендована к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 «Оптика» как удовлетворяющая критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», для кандидатских диссертаций.

Присутствовало на заседании 11 докторов наук и 7 кандидатов наук по профилю диссертации.

Результаты открытого голосования: «за» – 18 чел.; «против» – нет, «воздержалось» – нет (протокол № 14/20 от «26» ноября 2020 г.).

Председатель заседания



Тучин Валерий Викторович
заведующий кафедрой оптики и
биофотоники, доктор физико-
математических наук, профессор.

