

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации

Трифановой Екатерины Максимовны

### **«Спектральное преобразование лазерного излучения биосовместимыми матричными структурами»**

представленной на соискание ученой степени кандидата

физико-математических наук по специальности

2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств.

Диссертационная работа Трифановой Е.М. посвящена решению проблемы эффективной трансформации лазерного излучения ближнего ИК диапазона в излучение видимой области спектра полимерными матричными структурами, содержащими биосовместимые флуоресцентные наночастицы, а также исследованию возможностей их применения для решения актуальных задач оптической диагностики живых тканей.

Целью диссертационной работы Трифановой Е.М. является изучение процессов спектрального преобразования лазерного излучения наноразмерными апконвертирующими фосфорами (НАФ) на основе кристаллов  $\beta\text{-NaYF}_4:\text{Yb}^{3+}:\text{Er}^{3+}$ , равномерно распределенными в биосовместимых полимерных матриксах, изготовленных различными методами, а также исследование изменения их фотолюминесцентных характеристик в процессе взаимодействия с живыми объектами (клетками и биотканями).

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и списка используемой литературы. Объем диссертации составляет 129 страниц. Библиография включает 196 наименований.

Во введении автор обосновывает актуальность, формулирует цель и задачи своей диссертационной работы. Здесь описана новизна и практическая

значимость полученных результатов. Приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен обзор актуальной научной литературы по теме диссертации, рассмотрены различные типы фотолюминесцентных наномаркеров, применяемых для оптической визуализации биообъектов в тканевой инженерии, а также проведен сравнительный анализ их преимуществ и недостатков.

Во второй главе описаны и проанализированы экспериментальные результаты характеристики фотолюминесцентных свойств наноразмерных апконвертирующих фосфоров трех типов. Исследованы их структура, время жизни флуоресценции, а также коэффициенты конверсии лазерного излучения в зависимости от размера и наличия у них инертной оболочки  $\text{NaYF}_4$ .

В главе 3 диссертационной работы описаны процессы изготовления фантомов биотканей на основе агарозы и приведены результаты экспериментов по исследованию их оптических свойств. Также в этой главе проанализированы амплитудно-частотные изменения спектров фотолюминесценции НАФ  $\beta\text{-NaYF}_4:\text{Yb}^{3+}:\text{Er}^{3+}/\text{NaYF}_4$  со структурой «ядро/оболочка», являющиеся результатом прохождения этого излучения через такие фантомы.

Глава 4 посвящена исследованию флуоресцентных свойств наночастиц имеющих в основе кристаллическую решетку  $\alpha\text{-NaYbF}_4$ , легированную ионами Er, Ce и Zn, имеющих интенсивные линии фотолюминесценции как в антистоксовой, так и стоксовой областях спектра, а также описанию результатов их оптической визуализации сквозь модельные среды, имитирующие ткани живого организма.

В Главе 5 представлен обзор существующих сегодня способов изготовления биосовместимых матричных структур (матрикс) с требуемыми морфологическими, физико-химическими свойствами и геометрическими характеристиками, на основании которого обоснован выбор использованных в диссертационной работе методов электроспиннинга и

трехмерной печати. Описаны процессы формирования этими методами биосовместимых матриц на основе полимеров природного и синтетического происхождения, импрегнированных НАФ в различных концентрациях, а также изучены их механические и фотолуминесцентные свойства. На модели подкожной имплантации самкам мышей *in vivo* проведен анализ биосовместимости разработанных матриц и продемонстрирована возможность их использования для проведения биомедицинских исследований.

В заключении представлены основные результаты и выводы диссертационной работы.

Автореферат полностью отражает основное содержание работы.

В то же время диссертационная работа Трифановой Е.М не свободна от недостатков.

1. На стр. 23 обсуждены результаты размерного СЭМ-анализа сферических  $\text{NaYF}_4:\text{Yb}^{3+}, \text{Er}^{3+}$  наночастиц (рисунок 2.1); в частности, утверждается, что «сферические наночастицы I типа имеют практически монодисперсное распределение по размерам (средний диаметр  $13 \pm 4$  нм)...». Это утверждение представляется слишком сильным; его следовало бы прокомментировать в связи с хорошо известными критериями монодисперсности/полидисперсности. Обычно принято считать, что распределение частиц по размерам является монодисперсным, если диаметр по меньшей мере 90% частиц находится в пределах 5% отклонения от среднего размера [Hackley, V.A. Nomenclature for Ceramic Particle Dispersion Systems, USA, 1999]. Более строго, принадлежность частиц к монодисперсным или полидисперсным системам оценивается с помощью степени полидисперсности или коэффициента вариации частиц по размерам [José Carlos De La Vega et al. Uniform polymer microspheres: monodispersity criteria, methods of formation and applications // Nanomedicine, 2013, Vol.8, №2, P.265-

285]. Для монодисперсных систем считается, что последний параметр не должен превышать 3%.

2. Стр. 25, «На Рисунке 2.4 представлены характерные спектры фотолюминесценции НАФ I и II типов со структурами «ядро» и «ядро/оболочка». Интенсивность фотолюминесценции наночастиц с оболочкой существенно выше по сравнению с наночастицами со структурой только «ядро». Здесь следовало бы дать хотя бы качественную физическую интерпретацию этого эффекта.

3. На стр. 26-27 представлены результаты измерений интенсивности фотолюминесценции НАФ I и II типов для двух длин волн (544 нм и 658 нм) в зависимости от интенсивности накачки на длине волны 976 нм (рис. 2.5). Особенностью является близкий к степенному характер этих зависимостей с показателями степени в интервале от 1.29 до 1.92 при плотностях мощности накачки, меньших порога насыщения фотолюминесцентного отклика. Следовало бы прокомментировать физические основы появления подобной нелинейности.

4. Стр. 28-29, Таблица 2.1. Следовало бы привести краткое описание методики и используемого оборудования для измерений времен жизни фотолюминесценции.

5. Стр. 30, рис. 2.7. Очевидно, что наклон зависимостей коэффициента конверсии от плотности мощности накачки в линейных координатах связан с отмеченной в п. 3 нелинейностью зависимостей фотолюминесцентного отклика от плотности мощности накачки. Следовало бы хотя бы на качественном уровне обсудить подобную взаимосвязь.

6. Приведенные в таблицах 3.1 и 3.2 результаты решения обратной задачи по определению оптических параметров фантомов из данных о спектрах диффузного отражения и пропускания и коллимированного пропускания вызывают определенные вопросы. Возрастание  $g$  при увеличении длины волны для дисперсных систем – это аномальное явление; теория рассеяния света дисперсными системами предсказывает обратное поведение. Кроме

того, практика применения молока и аналогичных систем (например, интралипида) для изготовления фантомов биологических тканей достаточно распространена и наверняка существуют работы, посвященные определению оптических характеристик таких систем. Полученные результаты могли бы быть сопоставлены с этими работами.

Указанные недостатки и замечания имеют частный характер и не снижают общего положительного впечатления от прочтения диссертационной работы Трифановой Е.М. Полнота и достоверность, новизна и актуальность проведенных автором исследований подтверждаются публикацией 8 статей, отражающих основное содержание работы, в Российских и зарубежных научных журналах, входящих в список ВАК, а также апробацией полученных результатов на различных Российских и международных конференциях.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Трифановой Е.М., представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая по критериям актуальности, научной новизны, значимости, обоснованности и достоверности выводов отвечает всем требованиям “Положения о порядке присуждения ученых степеней”, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Трифанова Екатерина Максимовна, несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств.

Я, Зимняков Дмитрий Александрович, согласен на обработку персональных данных в документах диссертационного совета.

Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Физика» федерального  
государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Саратовский  
государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.»



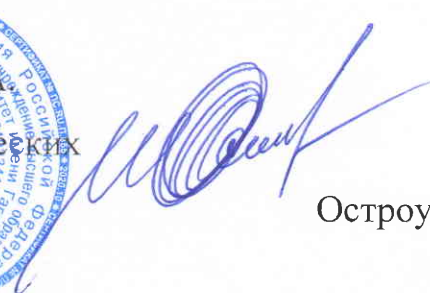
Дмитрий Александрович Зимняков

« 10 » 11 2023 г.

г. Саратов, ул. Политехническая, 77, СГТУ имени Гагарина Ю.А.  
корпус 1, комната 327.  
тел.: (8452) 99-86-24, 99-86-26; факс 713-81-09;  
e-mail: zimnykov@mail.ru

«Подпись Зимнякова Д.А. заверяю»  
Проректор СГТУ имени Гагарина Ю.А.  
по науке и инновациям, доктор химических  
наук, профессор





Остроумов И.Г.