

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Немова Сергея Александровича на диссертацию Колесникова Ильи Евгеньевича на тему «Люминесцентная термометрия на основе неорганических, металлоорганических и органических соединений: принципы, подходы и приложения», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Возможность измерения локальной температуры или температурного градиента имеет важное значение для развития многих областей науки и технологий (биологии, микроэлектроники, микрофлюидики и нанофотоники). У традиционных термометров есть недостатки, которые не позволяют использовать их для трехмерного температурного картирования, для определения температуры в субмиллиметровом масштабе (например, в живых клетках или на уровне отдельных транзисторов) или в движущихся объектах (например, турбины и двигатели). Поэтому создание новых температурных сенсоров и разработка принципов их функционирования является в настоящее время быстро развивающимся и актуальным научным направлением. Одним из наиболее перспективных бесконтактных термометрических методов является люминесцентная термометрия, которая позволяет измерять температуру путем считывания параметров люминесцентного излучения объекта. Люминесцентная термометрия обеспечивает высокое пространственное и температурное разрешение при коротком времени сбора данных, что позволяет проводить отслеживание температуры в режиме реального времени.

Диссертация Колесникова И.Е. «Люминесцентная термометрия на основе неорганических, металлоорганических и органических соединений: принципы, подходы и приложения» посвящена разработке единой концепции люминесцентной термометрии для материалов различной природы, использующих для определения температуры разных температурно-чувствительные параметры. В рамках выполнения работы продемонстрированы подходы к реализации оптической термометрии люминофорами с одним и двумя активными центрами, а также разработаны способы улучшения термометрических характеристик температурных сенсоров.

Диссертация имеет классическую структуру, состоит из введения, обзора литературы, описания использованных методов синтеза и исследования образцов и пяти глав, описывающих основные результаты. Обзор литературы достаточно полно описывает современное состояние люминесцентной термометрии. В главе 2 перечислены синтетические процедуры, экспериментальные методы характеристики изучаемых материалов и способы расчета термометрических параметров. Глава 3 посвящена

использованию стоковых и антистоксовых оптических термометров с одним люминесцентным центром. В главе 4 описываются различные подходы к реализации оптической термометрии на основе материалов с двумя люминесцентными центрами. Глава 5 описывает разработанные автором способы улучшения термометрических характеристик (тепловой чувствительности и температурного разрешения) оптических термометров различной природы. В главе 6 продемонстрированы возможности использования исследованных люминесцентных термометров в различных приложениях от биомедицины до микроэлектроники. Глава 7 посвящена теоретическому моделированию спектроскопических и термометрических параметров ратиометрических люминесцентных термометров на основе ионов  $\text{Eu}^{3+}$ .

Научная новизна диссертации состоит в разработке и реализации концепции оптической термометрии для материалов разной природы: неорганических люминофоров (стоксовых и антистоксовых нано- и микрокристаллических частиц, легированных редкоземельными ионами), металлоорганических комплексов и органических соединений, а также предложении способов улучшения термометрических характеристик люминесцентных температурных сенсоров.

Практическая значимость заключается в том, что синтезированные и исследованные в работе люминесцентные термометры позволяют определять локальную температуру с субградусным разрешением в широком диапазоне температур, что может быть использовано в большом количестве прикладных задач, включая биомедицину, электронику, катализ и промышленное производство.

Диссертационная работа выполнена на высоком уровне с использованием широкого набора современных синтетических и физико-химических экспериментальных методов и теоретических подходов. Надежность и достоверность полученных результатов подтверждается воспроизводимостью и согласованностью данных. Автор активно публикует полученные научные результаты в рецензируемых изданиях, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus, выступает в международных и всероссийских конференциях. Основные научные результаты диссертационной работы изложены в 29 публикациях, опубликованных в изданиях, относящихся к 1 и 2 квартилям. Представленный список публикаций полностью соответствует уровню диссертации на соискание степени доктора наук.

Работа написана ясным научным языком и хорошо оформлена. Однако при прочтении диссертации возник ряд вопросов:

1. В диссертации люминесцентная термометрия на основе соединений разной природы продемонстрирована только для температурных сенсоров с одним

активным центром. Возможно ли использование люминесцентных температурных сенсоров с двумя активными центрами, построенных на основе, например, органических или металлоорганических веществ?

2. Глава 7 посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию ратиометрических люминесцентных термометров на базе ионов  $\text{Eu}^{3+}$ . Почему были выбраны люминесцентные температурные сенсоры, легированные именно ионами европия? Можно ли провести подобные расчеты для термометров с другими редкоземельными ионами?

Необходимо отметить, что сделанные замечания не носят принципиального характера и не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку работы. В целом диссертация Колесникова Ильи Евгеньевича является законченным научным исследованием, безусловно актуальным, имеющим высокую научную и практическую ценность, а полученные результаты обладают научной новизной. К достоинствам диссертации относятся последовательность и логичность построения, лаконичность изложения и обоснованность выводов. Защищаемые положения убедительно обоснованы, а новые результаты не противоречат известным на данный момент представлениям. Диссертация без сомнения является существенным научным вкладом в активно развивающуюся люминесцентную термометрию.

Диссертация Колесникова Ильи Евгеньевича на тему «Люминесцентная термометрия на основе неорганических, металлоорганических и органических соединений: принципы, подходы и приложения» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Колесников Илья Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Член диссертационного совета

Д.ф.-м.н., профессор,

профессор Высшей школы физики

и технологии материалов СПбПУ

Лауреат Государственной премии РФ

