

В диссертационный совет 99.2.159.02  
при Российском химико-технологическом университете  
имени Д. И. Менделеева и Южно-Российском государственном  
политехническом университете (НПИ) имени М. И. Платова

## **О Т З Ы В**

Официального оппонента

на диссертационную работу Серкиной Ксении Сергеевны на тему  
«Синтез и свойства висмутгерманатных стекол, излучающих в ближнем ИК-  
диапазоне», представленной на соискание ученой степени кандидата  
химических наук по специальности 2.6.14. «Технология силикатных и  
тугоплавких неметаллических материалов»

Диссертация Серкиной К.С. посвящена актуальным вопросам создания новых ИК-люминесцентных стеклянных материалов, излучение которых покрывает область от 1000 до 2200 нм, и исследованию их свойств. Непрерывный рост и развитие технологий в области оптики и микроэлектроники стимулируют поиск новых функциональных материалов с управляемыми спектрально-люминесцентными характеристиками. В диссертации описано получение новых ИК-люминесцирующих стекол на основе оксидов висмута, германия и натрия, легированных редкоземельными ионами, рассмотрены актуальные вопросы взаимодействия излучающих центров в этих стеклах и показано влияние состава стеклянной матрицы и легирующих добавок на ширину спектрального диапазона ИК-люминесценции.

### **Научная новизна диссертационной работы**

Впервые получены стекла на основе оксидов висмута и германия, одновременно легированные редкоземельными оксидами и модифицированные щелочными оксидами, исследован ряд их свойств, определены оптимальные мольные составы шихт для получения широкой интенсивной полосы ИК-люминесценции. Установлено влияние компонентов

шихты на структурные характеристики и физико-химические свойства синтезированных стекол.

### **Практическая значимость диссертационной работы**

В диссертационной работе разработаны методы направленного синтеза люминесцентных стекол в системе  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2$  путем модифицирования  $\text{Na}_2\text{O}$  и подбора концентраций РЗИ, причем в зависимости от условий синтеза и состава стекла удастся контролируемо изменять положение максимума люминесценции в ближнем ИК-диапазоне (900–2200 нм).

На основе стекла состава  $10\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--}85\text{GeO}_2\text{--}5\text{Na}_2\text{O}$ , легированного  $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ , создан прототип термолюминесцентного датчика, в основе функционирования которого лежат зависимости интенсивности излучения на длине волны 1560 нм при возбуждении длиной волны 850 нм от температуры окружающей среды.

**Обоснованность и достоверность** результатов диссертационного исследования обусловлена применением современных взаимодополняющих физико-химических методов анализа: спектрально-абсорбционного анализа, спектрофлуориметрии, ИК-Фурье спектроскопии, спектроскопии КРС, сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным рентгеноспектральным микроанализом, термического анализа. Достоверность полученных данных подтверждается их воспроизводимостью и статистической значимостью массива полученных данных. Подтверждением достоверности и новизны полученных в работе результатов являются публикации в рецензируемых научных журналах.

Результаты диссертационной работы были доложены на научных международных и всероссийских конференциях в области технологии функциональных материалов, оптики и фотоники и были опубликованы в том числе и в высокорейтинговых рецензируемых журналах «Ceramics» (Q2) и «Стекло и керамика» (Q3), индексируемых в международных системах цитирования Web of Science и Scopus.

Диссертация Серкиной Ксении Сергеевны состоит из четырех глав, включающих введение, литературный обзор, обсуждения результатов и итогов работы, общим объемом 169 страниц, включая 116 рисунков, 20 таблиц, 156 литературных ссылок и 2 приложения.

Во **введении** диссертант приводит информацию об актуальности темы, излагает цель и задачи диссертационной работы. Сформулирована научная новизна, теоретическая и практическая значимость; кратко описаны объекты и методики исследований; приведены положения, выносимые на защиту и информация о достоверности и реализации результатов работы. Указан личный вклад автора и данные по апробации работы; обосновано соответствие содержания работы паспорту специальности.

В **первой главе** приведен обширный обзор современной научной литературы, в котором автор рассматривает висмутсодержащие стекла и области их применения, анализирует влияние состава и условий синтеза этих стекол на их ключевые люминесцентные свойства. На основании выполненного обзора литературы автором сделан вывод о наиболее вероятной модели висмутовых активных центров (ВАЦ), а также показана возможность уширения инфракрасного спектрального диапазона полосы люминесценции при введении редкоземельных ионов в висмутсодержащие стекла.

Во **второй главе** приведено обоснование выбора объекта исследования, указаны используемые материалы и реактивы, описаны метод синтеза и методы исследования свойств синтезированных материалов.

В **третьей главе** представлены результаты синтеза и исследования характеристик стекол в системах  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2$  и  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2\text{--R}_2\text{O}$ , где R – щелочной металл. Автором были получены стекла исследуемых систем в широких концентрационных диапазонах: от 5 до 50 мол.%  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  для  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2$ , от 1 до 10 мол.%  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  и от 3 до 10 мол.%  $\text{R}_2\text{O}$  для  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2\text{--R}_2\text{O}$ , исследованы их физико-химические и спектрально-люминесцентные свойства. Установлены зависимости свойств синтезированных стекол от содержания  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  и  $\text{R}_2\text{O}$ , среди которых особое внимание уделено спектрально-люминесцентным свойствам. Комплексный анализ свойств стекол позволил выявить следующие закономерности: при выбранных условиях синтеза

наилучшим модификатором является  $\text{Na}_2\text{O}$ , а наиболее интенсивная люминесценция в ближнем ИК-диапазоне достигается при мольном соотношении  $\text{Bi}_2\text{O}_3:\text{Na}_2\text{O} = 2:1$  в шихте. На основании полученных экспериментальных данных построены диаграммы энергетических уровней, характеризующие ИК-люминесценцию стекла состава  $10\text{Bi}_2\text{O}_3-85\text{GeO}_2-5\text{Na}_2\text{O}$  при разных длинах волн возбуждения.

**Четвертая глава** посвящена рассмотрению легирования редкоземельными ионами ( $\text{Er}^{3+}$ ,  $\text{Yb}^{3+}$ ,  $\text{Tm}^{3+}$ ) стекол систем  $\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{GeO}_2$  и  $\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{GeO}_2-\text{Na}_2\text{O}$ . В ходе исследования спектрально-люминесцентных свойств стекол с переменным содержанием легирующих компонентов показана возможность уширения ИК-люминесценции висмутовых стекол и выявлены процессы обмена энергией между разными типами оптических центров. При совместном легировании парами редкоземельных ионов получены сверхширокие полосы ИК-люминесценции висмутгерманатных стекол в диапазонах: 900–1650 нм для пары  $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ , 1100–2200 нм для пары  $\text{Tm}^{3+}/\text{Er}^{3+}$  и 900–2200 нм для пары  $\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ . На основе анализа изменений люминесцентных характеристик стекол автором диссертации предложены схемы энергетического взаимодействия висмутовых активных центров и редкоземельных ионов.

Все вышесказанное позволяет заключить, что полученные автором результаты и выводы обладают новизной, а выполненная работа представляет научный интерес и имеет перспективы практического применения.

#### **Основные замечания и вопросы по работе**

1. Для оценки эффективности люминесцентных характеристик исследуемых стекол было бы целесообразно привести оценку квантового выхода ИК-люминесценции.
2. Диссертант приводит схемы энергетического взаимодействия между висмутовыми активными центрами и редкоземельными ионами на основе только спектров поглощения и люминесценции, для полноты раскрытия механизмов взаимодействия между люминесцирующими центрами следовало бы провести также исследование кинетик затухания излучательных процессов.

3. В главе 3, разделе 3.2. «Висмутгерманатные стекла, модифицированные щелочными оксидами» автором синтезированы и проанализированы свойства стекол, модифицированных 5 мол.% щелочных оксидов, на основе чего оксид натрия был выбран в качестве лучшего модификатора. Результаты оценки оптического качества стекол приведены в описательной форме, без иллюстративного материала, например, фотографий включений, что несколько снижает восприятие приведенных результатов.

4. На стр.72 текста диссертации автор указывает, что «...в качестве иммерсионной жидкости использовали нафталин ( $n_D = 1,81$ )». Показатель преломления нафталина примерно 1,58, и он твердый, для обычно используемого 1-бромнафталина показатель преломления равен 1,65. Что за жидкость имеет показатель преломления 1,81 неясно, либо есть ошибка в самом значении.

Автором выполнен большой объем экспериментов, связанных с синтезом и исследованием свойств новых материалов. Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, результаты которого показывают возможность практического использования новых ИК-люминесцентных материалов и перспективность дальнейшего развития этого направления исследований. Указанные замечания, разумеется, не влияют на общую положительную оценку работы Серкиной Ксении Сергеевны «Синтез и свойства висмутгерманатных стекол, излучающих в ближнем ИК-диапазоне».

### **Заключение**

Рассмотренная диссертационная работа обладает актуальностью, а представленные в ней результаты достоверны и обладают научной новизной. Результаты работы были доложены на тематических международных и отечественных конференциях, и опубликованы в ведущих научных рецензируемых журналах. Число публикаций автора соответствует критериям пункта 13 раздела II Положения Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N 842 "О порядке присуждения ученых степеней". По теме диссертации опубликовано 5 работ, индексируемых в базах данных Scopus и

Web of Science, в том числе 2 публикации – в журналах, входящих в перечень ВАК РФ. Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают основное содержание диссертационной работы.

Результаты работы Серкиной К.С. могут быть рекомендованы для использования в следующих организациях Российской Федерации, деятельность которых лежит в области исследования и производства новых люминесцентных материалов: ФГБУН ФИЦ «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН), ФГБУН Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипяна Российской академии наук (ИФТТ РАН), ООО «Лазерные компоненты».

Диссертационная работа Серкиной Ксении Сергеевны «Синтез и свойства висмутгерманатных стекол, излучающих в ближнем ИК-диапазоне», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.14. «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов», представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решена важная для развития фотоники и электроники научная задача по разработке ИК-люминесцентных материалов с контролируемой широкой полосой излучения на основе стекол в системах  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2$  и  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2\text{--R}_2\text{O}$  ( $\text{R} = \text{Li, Na, K, Rb, Cs}$ ). По тематике, методам исследования, предложенным научным положениям диссертационная работа соответствует пунктам 1 и 3 паспорта специальности 2.6.14. «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов».

Считаю, что по актуальности, научной новизне, достоверности, практической значимости, личному вкладу автора диссертационная работа в полной мере соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» в редакции, утвержденной Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г. (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Автор диссертационной работы «Синтез и свойства висмутгерманатных стекол, излучающих в ближнем ИК-диапазоне» – Серкина Ксения Сергеевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по

специальности 2.6.14. «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов».

Официальный оппонент,  
и.о. заведующего лабораторией,  
высококвалифицированный ведущий научный  
сотрудник Лаборатории «Молекулярная  
спектроскопия люминесцентных материалов»  
«Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Физический институт им.  
П.Н. Лебедева Российской академии наук»,  
доктор химических наук

И.В. Тайдаков

27 ноября 2025

**Тайдаков Илья Викторович**

Адрес: 119991, Москва, Ленинский проспект, д.53

E-mail: tajdakoviv@lebedev.ru

Официальный телефон: +7(499) 132-62-08

Подпись руки и.о. заведующего лабораторией, высококвалифицированного ведущего научного сотрудника Лаборатории «Молекулярная спектроскопия люминесцентных материалов» «Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук», доктора химических наук Тайдакова Ильи Викторовича удостоверяю:

Ученый секретарь ФИАН

К.ф.-м.н

А.В. Колобов