

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»

В диссертационной работе Серкиной К.С. рассматриваются актуальные вопросы синтеза и исследования висмутгерманатных стекол, проявляющих ИК-люминесценцию в диапазоне от 1000 до 2200 нм. Возможность получения материалов с управляемыми люминесцентными характеристиками в ближней ИК-области спектра представляется важной с научно-исследовательской и практической точки зрения. Существенную часть работы занимают исследования спектрально-абсорбционных и спектрально-люминесцентных характеристик синтезированных автором висмутгерманатных стекол, как модифицированных оксидом натрия, так и легированных ионами редкоземельных элементов ( $\text{Er}^{3+}$ ,  $\text{Yb}^{3+}$ ,  $\text{Tm}^{3+}$ ). Автором получены сведения о люминесценции висмутовых активных центров, включая влияние добавок щелочных и редкоземельных оксидов на процессы их формирования и разрушения. Значительный объём экспериментальных данных, полученных с применением современных аналитических методов исследования, обеспечивает достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы. Диссертация отличается логичной структурой, обоснованностью

основных научных положений и выводов, а также ясностью и последовательностью изложения материала.

### **Научная новизна диссертационной работы**

Автором впервые исследовано совместное влияние  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  на свойства ИК-люминесцентных стекол в системе  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2\text{--Na}_2\text{O}$ . Выявлено оптимальное мольное соотношение  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{:Na}_2\text{O}$  для получения интенсивной люминесценции висмутовых активных центров в стеклах. Также впервые показана возможность управления БИК-люминесценцией стекол системы  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2$  в диапазоне 900–2200 нм, путем введения легирующих и модифицирующих добавок. При возбуждениях 520 нм, 785 нм и 808 нм получена одновременная интенсивная люминесценция висмутовых активных центров и редкоземельных ионов, установлены оптимальные концентрации редкоземельных оксидов и оптимальная длина волны возбуждения для каждой легирующей добавки.

**Практическая значимость** выполненной Серкиной К.С. диссертационной работы заключается в демонстрации управления ИК-люминесценцией стекол в системе  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2$  в широком диапазоне (от 900 до 2200 нм) путем подбора концентраций модифицирующих и легирующих добавок.

Разработанный в ходе диссертационного исследования состав стекла на основе  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2\text{--Na}_2\text{O}$ , легированный  $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ , нашел применение в качестве чувствительного элемента для прототипа промышленного датчика, регистрирующего температуру окружающей среды в зависимости от изменения интенсивности излучения на длине волны 1560 нм при возбуждении длиной волны 850 нм.

**Обоснованность и достоверность** результатов диссертационной работы обеспечены использованием комплекса современных физико-химических методов анализа. Надёжность полученных данных подтверждается их воспроизводимостью и статистической согласованностью экспериментальных результатов. Дополнительным подтверждением достоверности и научной новизны проведённых исследований служат публикации автора в

рецензируемых высокорейтинговых научных изданиях «Ceramics», «Стекло и керамика», входящих в международные базы данных научного цитирования Web of Science и Scopus. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и научных школах: International Conferences “Laser Optics” (2022, 2024 гг.), «Материалы нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики: физические свойства и применение» (2022, 2024 гг.), «Оптика и спектроскопия конденсированных сред» (2022, 2023, 2024 гг.), Международном Конгрессе молодых ученых по химии и химической технологии «МКХТ» (2021, 2022, 2023, 2024 гг.), «Функциональные Материалы: Синтез, Свойства, Применение» (2022 г.), Международной молодежной конференции по люминесценции и лазерной физике (2023 г.), Всероссийской школе-семинаре по проблемам физики конденсированного состояния вещества (2025 г.).

Диссертация Серкиной Ксении Сергеевны состоит из введения, обзора литературы, обсуждения результатов и итогов работы, общим объемом 169 страниц, включая 116 рисунков, 20 таблиц, 2 приложения и библиографию, содержащую 156 наименований.

**Во введении** автор описывает актуальность темы, цель и задачи диссертационной работы, научную новизну, теоретическую и практическую значимость. Приведено описание объектов и методик исследований. Указаны положения, выносимые на защиту, информация о достоверности и реализации результатов работы и о личном вкладе автора. Дана информация об апробации диссертационной работы; о соответствии содержания диссертационной работы паспорту специальности; о структуре и объеме диссертации.

**Первая глава** содержит обзор научной литературы, где приводится подробная информация о множестве актуальных исследований висмутовых стекол, в которых рассмотрено влияние технологических факторов на их ключевые свойства. Рассмотрены существующие модели висмутовых активных центров (ВАЦ), ответственных за проявление ИК-люминесценции. Анализируя обзор литературы, автор отмечает возможность уширения спектрального диапазона полосы люминесценции при введении редкоземельных ионов в ИК-люминесцирующие висмутовые стекла.

**Вторая глава** содержит обоснование выбора объекта исследования, перечень используемых материалов и реактивов, описание метода синтеза и методов исследования свойств синтезированных материалов.

**В третьей главе** представлены результаты синтеза и исследования свойств висмутгерманатных стекол, как чистых, так и модифицированных оксидами щелочных металлов. Автором установлены зависимости физико-химических характеристик синтезированных стекол от содержания  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  и  $\text{R}_2\text{O}$ , среди которых особое внимание уделено спектрально-абсорбционным и спектрально-люминесцентным свойствам. На основании комплексного анализа автором установлено, что при выбранных условиях синтеза интенсивная люминесценция ВАЦ в ближнем ИК-диапазоне достигается при введении в стекла оксида натрия, а максимальная интенсивность – при мольном соотношении  $\text{Bi}_2\text{O}_3:\text{Na}_2\text{O}=2:1$  в шихте. Исходя из полученных экспериментальных данных построены энергетические диаграммы, описывающие механизмы ИК-люминесценции стекла состава  $10\text{Bi}_2\text{O}_3-85\text{GeO}_2-5\text{Na}_2\text{O}$ .

**В четвертой главе** автором диссертации рассмотрено влияние легирования редкоземельными ионами ( $\text{Er}^{3+}$ ,  $\text{Yb}^{3+}$ ,  $\text{Tm}^{3+}$ ) стекол систем  $\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{GeO}_2$  и  $\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{GeO}_2-\text{R}_2\text{O}$ . Анализ спектрально-люминесцентных свойств стекол с варьируемой концентрацией легирующих компонентов показал возможность существенного уширения ИК-люминесценции висмутсодержащих стекол, обусловленного одновременной люминесценцией ВАЦ и ионов редкоземельных элементов. При солегировании парами редкоземельных ионов  $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ ,  $\text{Tm}^{3+}/\text{Er}^{3+}$  или  $\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$  получена уникальная широкополосная ИК-люминесценция висмутгерманатных стекол, располагающаяся в диапазоне от 900 до 2200 нм. Автором выявлены процессы взаимодействия между редкоземельными ионами и висмутовыми активными центрами, которые проиллюстрированы схемами переноса энергии между излучающими центрами.

Таким образом, полученные автором результаты и сформулированные выводы обладают высокой степенью новизны, а проведенное исследование

представляет собой значимый вклад в научную область и обладает перспективами практической реализации.

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

1. В главе 3, в разделе 3.1 использованы обозначения составов стекол, которые в ряде случаев могут быть недостаточно наглядными или вводящими в заблуждение. Например, обозначение состава 30-70 можно рассматривать, как содержащий 30 мол.% или же 70 мол.% оксида висмута. Было бы целесообразным пересмотреть систему подписей составов, сделав более удобной для восприятия, например, сохранив в подписи только обозначение мольного содержания оксида висмута.

2. Некоторые графические материалы (например, спектры фотолюминесценции или комбинационного рассеяния света) содержат большое количество экспериментальных данных, что затрудняет их восприятие. Для повышения наглядности следовало бы упростить графики, выделив основные, наиболее важные результаты.

3. Диссертант приводит спектры люминесценции, где интенсивность указана в условных единицах. Как в таком случае подтверждается достоверность полученных зависимостей интенсивности люминесценции от состава стекол?

Вместе с тем, хочу отметить, что автором сделан обширный и подробный литературный обзор, выполнен значительный объем экспериментальных исследований, посвященных синтезу и исследованию свойств новых материалов. Результаты работы демонстрируют перспективность дальнейших исследований для решения целого ряда возникших вопросов. Приведенные выше замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Серкиной Ксении Сергеевны «Синтез и свойства висмутгерманатных стекол, излучающих в ближнем ИК-диапазоне».

### **Заключение**

Рассмотренная диссертационная работа является актуальной, а представленные в ней результаты достоверны и обладают научной новизной. Основные результаты работы были доложены на тематических конференциях, а также опубликованы в научных рецензируемых журналах. Число

публикаций автора соответствует критериям п. 13 раздела II Положения. По теме диссертации опубликовано 5 работ, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, в том числе 2 – в журналах, входящих в перечень ВАК РФ. Автореферат и опубликованные работы Серкиной К.С. 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:

1. Общество с ограниченной ответственностью «ВПП Лазеруан» (ООО «ВПП Лазеруан»);

2. Акционерное общество «Научно-производственное объединение Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова» (АО «НПО ГОИ им. С. И. Вавилова»);

3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН).

Диссертационная работа Серкиной Ксении Сергеевны «Синтез и свойства висмутгерманатных стекол, излучающих в ближнем ИК-диапазоне», представленная 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 научная задача по разработке составов люминесцентных стекол систем  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2$  и  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2\text{--R}_2\text{O}$  ( $\text{R} = \text{Li, Na, K, Rb, Cs}$ ) с контролируемой широкой полосой излучения в БИК диапазоне.

Считаю, что по актуальности, научной новизне, достоверности, практической значимости и личному вкладу автора диссертационная работа полностью 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. Диссертационная работа

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

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,  
старший научный сотрудник  
Лаборатории «Фианит» Отдела  
нанотехнологий Научного центра  
лазерных материалов и технологий  
ФГБУН ФИЦ «Институт общей физики  
им. А.М. Прохорова Российской  
академии наук»,  
кандидат физико-математических наук



**С.Н. Ушаков**

*14.11.2015*

**Ушаков Сергей Николаевич**

Адрес: 119991, Москва, ул. Вавилова, д. 38

E-mail: ushakov@lst.gpi.ru; ushserg63@mail.ru

Официальный телефон: +7 (499) 503-87-77 доб. 3-79

Подпись руки старшего научного сотрудника Лаборатории «Фианит» Отдела нанотехнологий Научного центра лазерных материалов и технологий ФГБУН ФИЦ «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук», кандидата физико-математических наук Сергея Николаевича Ушакова удостоверяю:



*Ушакова С.Н.*

**ИОФ РАН  
Глушков В.В.**