

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.2.159.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «РОССИЙСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА», ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (НПИ) ИМЕНИ
М.И. ПЛАТОВА», ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета
от «26» июня 2026 года, протокол № 30

О присуждении **Михайлову Юрию Владимировичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Фемтосекундная лазерная запись двулучепреломляющих и люминесцирующих микроструктур в нанопористых стеклах» по специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов принята к защите «14» апреля 2026 года, протокол заседания № 23, диссертационным советом 99.2.159.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» и Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (125047 Москва, Миусская площадь, дом 9, приказ о создании диссертационного совета от «17» апреля 2025 года № 354/нк).

Соискатель Михайлов Юрий Владимирович, «25» марта 1998 года рождения. В 2022 году окончил Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева. В 2026 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева. С 2023 года по настоящее время работает научным сотрудником кафедры химической технологии стекла и ситаллов Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре химической технологии стекла и ситаллов Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель — кандидат химических наук Федотов Сергей Сергеевич, работает в должности доцента кафедры химической технологии стекла и ситаллов Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева.

Официальные оппоненты:

Сысоев Валентин Константинович, доктор технических наук, главный специалист проектного комплекса Акционерного общества «Научно-производственное объединение имени С.А. Лавочкина» (Москва);

Баранчиков Александр Евгеньевич, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории синтеза функциональных материалов и переработки минерального сырья Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (Москва),

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**» (Москва), в своем **положительном** отзыве, подписанном доктором химических наук, профессором кафедры химической технологии и новых материалов химического факультета Лазоряком Богданом Иосиповичем, заведующим той же кафедрой, доктором химических наук, профессором Авдеевым Виктором Владимировичем и секретарем заседания, кандидатом химических наук Бердоносковой Еленой Александровной, указала, что диссертация на тему «Фемтосекундная лазерная запись двулучепреломляющих и люминесцирующих микроструктур в нанопористых стеклах» представляет собой целостное и завершенное научное исследование, в рамках которого получен ряд новых результатов, представляющих несомненный фундаментальный и практический интерес.

В отзыве ведущей организации отмечено, что работа, выполненная Михайловым Юрием Владимировичем, по своей актуальности, научной новизне и практической значимости, а также личному вкладу автора, является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований предложено решение научной проблемы получения новых материалов на основе нанопористого стекла. В диссертации были поставлены задачи, для которых автор нашел новые научно обоснованные технические и технологические решения в области синтеза материалов с заданными функциональными свойствами, имеющие существенное значение для развития

страны. Результаты диссертационной работы Михайлова Юрия Владимировича могут быть рекомендованы к практическому использованию при синтезе нанопористых и кварцоидных стекол для применения в области архивной оптической памяти и фотоники.

Диссертационная работа соответствует требованиями пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», в редакции, утвержденной Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, с учетом соответствия паспорту специальности, а ее автор, Михайлов Юрий Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов (отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании кафедры химической технологии и новых материалов «5» мая 2026 года, протокол № 3).

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы.

Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 35 страниц. ***В тексте диссертации не содержится недостоверных сведений об опубликованных исследованиях.*** Все работы опубликованы в соавторстве, личный вклад соискателя составляет более 80 % и включает в себя основные этапы исследования: формирование идеи, постановку задач, проведение экспериментов с последующей интерпретацией результатов. Основные результаты диссертационной работы рассматривались и обсуждались на 6 международных, всероссийских научных конференциях и научных школах. Монографий и депонированных рукописей соискатель не имеет.

Наиболее значимые публикации по теме диссертации:

1. Lipatiev A.S. Silver-doped porous glass for advanced optical data storage based on ultrafast laser nanostructuring / Lipatiev A.S., Fedotov S.S., Lipateva T.O., **Mikhailov Yu.V.**, Stopkin S.I., Lotarev S.V., Ivanov P.I., Sigaev V.N. // Microporous and Mesoporous Materials. 2024. Vol. 369. Art. No. 113036. (*Q1 WoS, Scopus, YI Белого списка*)

2. Федотов С.С. Влияние пористой структуры стекла на формирование двулучепреломляющих областей фемтосекундными лазерными импульсами / Федотов С.С., **Михайлов Ю.В.**, Липатьев А.С., Сайфутяров Р.Р., Липатьева Т.О., Иванов П.И., Глебов И.С., Сигаев В.Н. // Неорганические материалы. 2024. Т. 60. № 7. С. 869-875. (*Q4 WoS, Scopus, YI Белого списка*)

3. Михайлов Ю.В. Лазерное формирование люминесцирующих треков в объеме нанопористого стекла, допированного висмутом / Михайлов Ю.В., Липатьев А.С., Липатьева Т.О., Федотов С.С., Зиятдинова М.З., Иванов П.И., Сигаев В.Н. // Стекло и керамика. 2023. Т. 96. № 6 (1146). С. 15-21. (*Q4 WoS, Scopus, УЗ Белого списка*)

На автореферат диссертации поступили 6 отзывов, *все положительные*.

В отзывах указывается, что представленная к защите диссертационная работа посвящена решению актуальной проблемы получения новых оптических материалов, обладает достоверностью и научной ценностью полученных результатов, удовлетворяет установленным критериям, и заслуживает положительной оценки, как значительное достижение в области отечественной архивной памяти и фотоники, так как соискатель продемонстрировал параллельное кодирование информации в интенсивности люминесценции и характеристиках двулучепреломления.

Отзывы направили:

1. Петрачков Дмитрий Николаевич, кандидат технических наук, директор Научно-производственного комплекса «Стекло» - главный конструктор Акционерного общества «Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» имени А.Г. Ромашина». Отзыв содержит одно замечание: «В разделе «Перспективы дальнейшего исследования» упоминается задача герметизации поверхности ППС, но не раскрываются возможные подходы к её решению (например, нанесение тонких плёнок оксидов)».

2. Сычева Галина Александровна, кандидат химических наук, исполняющий обязанности заведующего лабораторией строения и свойств стекла, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского центра «Курчатовский институт» Филиала государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» - Института химии силикатов им. И.В. Гребенщикова. Отзыв содержит одно замечание: «Как следует из преамбулы работы, диссертация посвящена разработке подходов к записи и хранению информации, однако на странице 14 раздел 3.2 начинается с записи волноводов в стекле, импрегнированном висмутом. Какая связь между волноводами и хранением информации?»

3. Степко Александр Александрович, кандидат химических наук, заместитель начальника отделения - начальник отдела теплозащитных материалов Акционерного общества «Композит». Отзыв содержит два замечания: «Из автореферата не ясно, что являлось основным критерием при разработке методики синтеза НПС, в частности: почему выбрана хлороводородная кислота в качестве основы травильного раствора? Проводились

ли эксперименты по сокращению технологического цикла травления - увеличению производительности? В тексте автореферата нет данных о методике введения модифицирующих добавок в НПС, и как влияют параметры процесса на равномерность их распределения по объему образца. Проводилась ли оценка равномерности распределения введенных модифицирующих добавок?»

4. Семенов Сергей Львович, доктор физико-математических наук, руководитель Научного центра волоконной оптики им. Е.М. Дианова Российской академии наук - обособленного подразделения Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук». Отзыв содержит одно замечание: «В качестве пожелания можно отметить, что при описании эффекта ближнепольного усиления света, ответственного за ориентацию эллиптической полости, в тексте автореферата уместно было бы привести не только феноменологическое объяснение, но и сослаться на модельные расчёты, подтверждающие этот эффект для конкретных условий эксперимента. Также хотелось бы уточнить, каким образом обеспечивалась 99,86% точность считывания для двулучепреломления – связана ли погрешность с шумами оптической системы или с неоднородностью самих записанных вокселей. На стр. 15 при описании импрегнирования ионами серебра указано, что при одиночном импульсе формируется люминесцентный воксель, но не указано, какова его типичная интенсивность по сравнению с сигналом от фона. Не происходит ли неконтролируемое восстановление серебра по всему объёму при импрегнировании?»

5. Козюхин Сергей Александрович, доктор химических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук. Отзыв содержит три замечания: «В работе, по-видимому, не исследовалась возможность создания многослойных структур, расположенных на разной глубине, и их оптическое взаимодействие. Для практических носителей информации плотность записи можно увеличивать не только за счёт многопараметрического кодирования в одном вокселе, но и за счёт уменьшения расстояния между слоями. Хотелось бы понять, с какими ограничениями (например, сферическая абберация при фокусировке на большую глубину) автор столкнулся при работе с крупногабаритными дисками толщиной 6 мм. Также есть замечания, относящиеся к оценке срока хранения информации. Значение 1000 лет получено из оценки термостабильности вокселей при нагреве до 400 °С. Однако на практике на долговечность носителя влияет гораздо больше факторов, включая влажность, радиационный фон, вибрации. Учитывал ли автор влияние данных факторов? В тексте автореферата сказано, что точность считывания информации по люминесценции составила 100%, а по двулучепреломлению - 99,86%. Хотя это

отличные показатели, хотелось бы понять, чем обусловлена разница. Является ли это следствием флуктуаций лазерной энергии или неоднородности свойств самой матрицы?»

6. Гулюкин Михаил Николаевич, кандидат технических наук, ведущий инженер-технолог Акционерного общества «Лыткаринский завод оптического стекла». Отзыв содержит одно замечание: «Автор указывает на 100% выход для выборки из четырёх дисков и делает осторожный вывод об улучшении процента выхода по сравнению с ОСТ 3-5692-84. Однако, для более убедительного заключения о технологической воспроизводимости следовало бы привести статистику по большей выборке. Кроме того, при описании экспериментов по консолидации пор при 775 °С не указано, как именно контролировалось полное отсутствие сквозной пористости. На странице 10, при описании метода БЭТ, автор говорит о «бутылкообразных» порах, однако сама форма кривых изотерм адсорбции-десорбции в тексте автореферата не приведена. Было бы полезно включить её для полноты картины.»

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью в технологии новых стеклообразных пористых и волоконных материалов и материалов фотоники, наличием научных достижений и глубокими профессиональными знаниями по научной специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, способностью дать объективное заключение, проявить высокую научную принципиальность и требовательность, что подтверждается значительным количеством их публикаций в ведущих рецензируемых изданиях, и выполнен в соответствии с пп. 22 и 24 «Положения о присуждении научных степеней» (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от «24» сентября 2013 года № 842 в действующей редакции).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Установлены оптимальные с точки зрения прозрачности в видимом диапазоне длин волн условия синтеза образцов нанопористого стекла из промышленного стекла марки ДВ-1: наведение ликвационной структуры при температуре 520 °С в течение 72 ч с последующим травлением при температуре 50 °С в течение 96 ч в 3М растворе соляной кислоты. Разработанная технология синтеза позволяет получать крупногабаритные образцы нанопористого стекла диаметром от 100 мм и толщиной 6 мм с высоким процентом выхода продукции.

Установлено, что полученное по оптимизированному режиму синтеза нанопористое стекло имеет «бутылкообразные» поры со средним диаметром пор

10 нм. Объемная пористость составила порядка 25%, а удельный объем пор по кривой адсорбции $0,131 \text{ см}^3/\text{г}$ и по кривой десорбции $0,144 \text{ см}^3/\text{г}$.

Доказано, что наиболее важным фактором, влияющим на возможность формирования двулучепреломляющих вокселей, является удельный объем пор, который изменяется со значительно большей скоростью в сравнении с диаметром пор при консолидации порового пространства под действием температурной обработки. Уменьшение удельного объема пор приводит к снижению значений оптической разности хода лучей и сужению диапазона энергий фемтосекундных лазерных импульсов, в котором возможно формирование двулучепреломляющих вокселей.

Установлено, что под действием первых двух фемтосекундных импульсов в нанопористом стекле формируется субмикронная полость эллиптического сечения, большая ось которой перпендикулярна плоскости поляризации лазерного излучения вследствие эффекта ближнепольного усиления света. Дальнейшее увеличение количества импульсов до 5 приводит к развитию полости в нанопериодическую анизотропную структуру – нанорешетку. Это позволяет значительно ускорить запись информации при использовании носителей из нанопористого стекла.

Установлено, что процесс перезаписи информации в нанопористом стекле требует столько же лазерных импульсов, сколько необходимо для создания исходного вокселя, причем четырех импульсов достаточно для записи и перезаписи вокселя, обладающего уровнем оптической разности хода лучей, позволяющим надежно считывать информацию.

Доказано, что информация может быть закодирована как в сигнале люминесценции, так и в двулучепреломлении вокселей субмикронного размера со 100%-ной и 99,86%-ной точностью считывания соответственно. Данный метод кодирования информации позволяет реализовать дополнительное шифрование данных в параметрах двулучепреломления и открывает путь к развитию передовых оптических систем хранения данных.

Доказано, что возможно формировать люминесцирующие в оранжевой области спектра треки при накачке на 488 нм, причем для консолидированного образца, допированного ионами висмута, впервые продемонстрирована лазерная запись волновода с люминесценцией в ближней ИК-области спектра при накачке на 808 нм. Это указывает на возможность создания активных волноводных усилителей оптического сигнала.

Установлена возможность сверхбыстрой одноимпульсной записи люминесцирующего вокселя. Это показано на примере кварцеидного стекла, допированного ионами самария, при низком пороге энергии модифицирования – около 100 нДж, что открывает путь к высоким скоростям записи информации

более 1 Мбит/с. Установлено, что информация может быть закодирована независимо как в сигнале люминесценции, так и в параметрах двулучепреломления вокселей субмикронного размера со 100%-ной точностью считывания для обоих подходов к кодированию, что позволяет повысить плотность записи данных.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Разработана технология синтеза нанопористого стекла для применения в качестве носителя оптической информации из промышленного стекла марки ДВ-1. Разработанная технология позволяет получать крупногабаритные заготовки (диаметром от 100 мм).

Разработана методика получения функционального материала на основе нанопористого стекла за счет импрегнирования добавками, обладающими люминесцентными свойствами. При этом оптические свойства полученных прототипов носителей надежно гарантируют долговечность (более 1000 лет) и считывание информации, способствуя внедрению разработанных подходов в современные технологии оптической памяти.

Определены режимы лазерного воздействия для формирования вокселей, обладающих люминесцентными и двулучепреломляющими свойствами одновременно в объеме нанопористого стекла и консолидированного кварцоподобного стекла для практического применения в многоуровневом кодировании информации.

Разработана методика перезаписи двулучепреломляющих структур за счет повторного воздействия четырьмя фемтосекундными лазерными импульсами с измененной поляризацией лазерного пучка.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Разработаны составы ИК-люминесцирующих стекол, которые проявляют широкополосную люминесценцию в ближнем ИК-диапазоне, что позволяет в будущем использовать их в качестве активных сред в устройствах фотоники.

Полученные в рамках проведенных исследований результаты позволили **разработать** концепцию управления люминесцентными характеристиками висмутсодержащих ИК-люминесцирующих стекол, которая может быть использована для получения улучшенных характеристик. Эффективность и целесообразность применения концепции подтверждена современными методами физико-химического анализа полученных материалов.

Полученные в работе результаты **рекомендованы к использованию** для изучения и внедрения на современных предприятиях, в научных и образовательных организациях Российской Федерации, где ведутся научные разработки в области создания новых ИК-люминесцентных функциональных

материалов: в обществах с ограниченной ответственностью «Лазерные компоненты», «ВПП Лазеруан», в акционерном обществе «Оптиковолоконные системы», в федеральном государственном бюджетном учреждении науки федеральном исследовательском центре «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– **экспериментальная часть** выполнена с использованием современного оборудования, обработка данных осуществлялась статистически надежными методами обработки. Надежность результатов обоснована их воспроизводимостью и статистической значимостью массива данных и применением взаимодополняющих методов анализа, включающих спектрально-люминесцентный анализ, спектрально-абсорбционный анализ, энерго-дисперсионного рентгеноспектрального микроанализа и другие;

– **теоретическая часть** работы основана на фундаментальных положениях химии и технологии люминесцентных стеклянных материалов, учитывающих хорошо известные и подтвержденные закономерности физико-химических процессов, происходящих при их получении. Теоретические положения совпадают с экспериментальными данными, представленными в отечественных и зарубежных источниках, и подкреплены собственными результатами исследований, изложенными в настоящей диссертационной работе;

– **идея** базируется на анализе имеющихся результатов и обобщении передового научного опыта фундаментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных ученых в области исследования свойств нанопористых стекол, а также влияния допанта на функциональные свойства;

– **использованы** данные аналитического обзора современной научной литературы и публикаций мирового уровня по тематике диссертационной работы. Полученные результаты и сделанные соискателем выводы не противоречат им и расширяют современные представления о возможности уплотнения архивной оптической информации;

– **установлено** качественное соответствие авторских результатов по оценке свойств разработанных составов научным данным независимых исследователей в ведущих мировых научных изданиях по данной тематике;

– **достоверность** полученных результатов обеспечена использованием экспериментальных методик, соответствующих научному уровню передовых исследований в предметной области работы, статистикой экспериментов с воспроизводимыми результатами и сходимостью экспериментально полученных данных с результатами исследований других групп;

– **выводы диссертации обоснованы** и не вызывают сомнения и согласуются с современными представлениями о механизмах формирования нанопериодических микроструктур в объеме стекла.

Личный вклад соискателя состоит в анализе литературных источников, постановке задач исследования, выборе методов исследований, проведении экспериментальной работы, интерпретации и анализе результатов, подготовке статей и участии в конкурсах и конференциях. Диссертация написана автором самостоятельно, охватывает основные вопросы поставленной научной задачи, обладает внутренним единством и завершенностью.

В ходе защиты диссертации были заданы следующие вопросы:

1. Скажите, пожалуйста, запись, которую вы осуществляете в стёклах, идёт по одному слою или по уровню поверхности? На какую глубину вы формируете этот уровень? Сколько слоёв было?

2. Фотолюминесценция, которую вы считаете одним из каналов, – это же явление поверхностное? Как вы считываете с глубины? Скажите, пожалуйста, какой механизм люминесценции серебра?

3. Каким образом вы получаете пористые стёкла и как вы контролируете параметры этого стекла?

4. Как вы обеспечиваете равномерное травление с двух сторон?

5. Вы несколько раз использовали термин «консолидация пор» или «спекание». Что вы под этим понимаете, и что остаётся в плане структуры? А также – оценивали ли изменение объёма пор?

6. Меняется ли соотношение открытой и закрытой пористости? Когда вы обрабатываете поверхность, изначально поры открыты – вы их пропитываете. После консолидации они становятся закрытыми или остаются сквозными?

7. Вторая часть вопроса – состояние ионов, которые вы вводите. Вы говорите про ионы самария, висмута, серебра. К чему они присоединяются? Как обеспечивается электронейтральность? Это же не плазма.

8. У вас после обработки остаются линии и Sm^{3+} , и Sm^{2+} , причём Sm^{3+} даже более интенсивны. Вы не смотрели, какая доля самария переводится в Sm^{2+} ?

9. Можно ли использовать ваши пористые стёкла для создания каталитически активных композиций?

10. Вы говорили, что повышали температуру консолидации и при этом снижается качество записи. В чём баланс? Какие смысл?

11. Когда вы считываете двулучепреломление, вы освещаете светом и смотрите его прохождение. А с люминесценцией – возбуждение и считывание на разных длинах волн. У вас приёмник должен иметь ещё один канал. Волной какой длины вы возбуждаете и какой считываете?

12. Возбуждающий импульс не будет мешать считыванию других данных?

Соискатель Михайлов Юрий Владимирович ответил все на заданные ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию значимости проведенных исследований и полученных результатов.

По первому вопросу соискатель ответил, что была продемонстрирована возможность записи трёх слоёв, однако их можно увеличить. В ходе работы были записаны структуры с межслоевым расстоянием 15 мкм. Соответственно, существует возможность уменьшения этого расстояния и увеличения плотности записи. Однако 15 мкм позволяет надёжно считывать информацию.

Всё зависит от толщины образца. На примере дисков толщиной 6 мм можно записать не менее 200 слоёв. Мы использовали объектив Olympus с пятидесятикратным увеличением, числовой апертурой 0,65 и коррекцией на абберации, что позволило компенсировать изменение угла при погружении в объём образца.

По второму вопросу соискатель ответил, что были получены образцы, в которых запись осуществлялась на глубине 150 мкм от поверхности. Мы определяли спектры люминесценции для образцов, прошедших консолидацию, чтобы убедиться, что в объёме стекла отсутствует фоновая люминесценция. Сигнал исходит только от вокселей. Если бы это был поверхностный сигнал, то он не был бы значительно усилен, так как в объёме пористого стекла полностью отсутствует люминесценция, и она присутствует только в самих вокселях. Квант, который выходит через пористую структуру, не видит поверхность именно для этого нами были исследованы псевдо-слои для возможности считывания на разных глубинах. Для разных слоёв можно варьировать уровень люминесценции, снижая сигнал верхних слоёв, чтобы не создавать шум для более глубоких.

У нас образуются нанокластеры, у них изменяется расстояние между атомами, при этом возникает смещение зоны проводимости.

По третьему вопросу соискатель ответил, что под действием термической обработки в области купола распада возможно добиться фазового разделения, соответственно, получать взаимопроникающую структуру. Брали образец стекла марки ДВ-1, нарезали его, после этого термообработывали при температуре 520 °С в течение 72 часов для ликвации. Затем опускали в 3М раствор соляной кислоты, которая вытравливала натриевоборатную фазу и оставляла кремнезёмный каркас. Таким образом мы получали открытую пористость. Мы исследовали все возможные методы — комбинировали различные кислоты, пробовали травление в автоклаве для увеличения скорости, но все способы ускорения снижают выход образцов. Оптимальный режим — ликвация при температуре 520 °С, 72 ч, травление в соляной кислоте в течение 4 суток без смены раствора и без перемешивания, так как перемешивание приводит к растрескиванию.

По четвертому вопросу соискатель ответил, что если образец касается хотя бы какой-то поверхности, то возникает граница травления, которая меняет свойства поверхности. Мы использовали подвеску образца, чтобы он не касался стенок. При перемешивании потока травление оптимально при температуре 50 °С, но при перемешивании практически все образцы растрескивались. Мы связываем это с градиентами концентрации, которые при перемешивании становятся слишком резкими. Без перемешивания есть плавный градиент, и процесс идёт более щадяще.

По пятому вопросу соискатель ответил, что было проведено гидростатическое взвешивание для определения порового пространства во всех образцах. Под консолидацией порового пространства мы имеем в виду термическую обработку, при которой происходит закрытие пор, уменьшение порового пространства – это видно на графиках: удельный объём уменьшается. Однако при повышении температуры диаметр пор сначала растёт, выше температуры 775 °С происходит полное закрытие пор. Мы не изучали точную степень закрытости, но можем судить по тому, что при температуре 745 °С запись четырьмя импульсами уже невозможна, что аналогично кварцевому стеклу.

По шестому вопросу соискатель ответил, что после термообработки при температуре 745 °С в течение одного часа и шлифовки образца у нас не происходило впитывание воды и азота, то есть сквозная пористость исчезает. При температуре 775 °С происходит полная консолидация.

По седьмому вопросу соискатель ответил, что пропитка всегда проводилась с последующей термообработкой, при которой нитраты разлагаются, а ионы осаждаются на каркасе стекла, связываясь с силикатной сеткой. Точное определение состояния мы не проводили, но по спектрам люминесценции мы судим о валентном состоянии ($\text{Sm}^{3+}/\text{Sm}^{2+}$, нанокластеры Ag). Более детальное изучение трудоёмко, мы концентрировались на возможности записи.

По восьмому вопросу соискатель ответил, что точное соотношение не изучалось, так как требовалось определить принципиальную возможность разделения сигналов. При фемтосекундном лазерном облучении происходит одновременный рост двулучепреломления и люминесценции, поэтому разделить сигналы с серебром или висмутом не удалось. Для самария это удалось.

По девятому вопросу соискатель ответил, что планируется продвигать промышленный процесс, поэтому были рассмотрены не только применение в памяти, но и другие возможности, чтобы увеличить спрос на пористое стекло. В каталитических применениях оно очень перспективно, так как поровую структуру можно контролировать, распределение пор очень узкое, что даёт высокую селективность. Мы можем получать поры широкого диапазона, есть огромный

комплекс методов контроля, и мы можем получать образцы с большой прочностью.

По десятому вопросу соискатель ответил, что предлагается несколько подходов. Главный вопрос – цена. Существуют разные способы записи: кварцевое стекло стоит порядка двух тысяч долларов за диск, дешёвые варианты – около 70. Мы предлагаем промежуточный вариант – недопированное пористое стекло, у которого возможно запечатать поверхность термообработкой и быстро записывать тремя импульсами. Ёмкость – порядка 1,5 ТБ, но оно более хрупкое из-за пористости. При консолидации цена повышается незначительно (до ~700), а свойства лишь на 20–30 % хуже кварца, но появляется возможность дополнительного кодирования через люминесценцию. Цена устройства записи – около 30 000 долл. (фемтосекундный лазер), но это обеспечивает долговременное хранение. Мы создаём нишу промежуточного этапа.

По одиннадцатому вопросу соискатель ответил, что для самария возбуждение – 488 нм, для серебра – 532 нм. Считывание – в диапазоне 600–700 нм (для самария пики 650 и 680 нм). Технически требуется два оптических канала, но это инженерная задача.

По двенадцатому вопросу соискатель ответил, что можно расположить считывание на различных участках диска параллельно, или считывать с временным запаздыванием: сначала измерять двулучепреломление, потом люминесценцию, а затем программно пересчитывать.

На заседании «26» июня 2026 года диссертационный совет за решение научной задачи, имеющее существенное значение для развития страны, а именно – за создание высокоплотных носителей архивной оптической информации, полученных на основе нанопористого стекла импрегнированного ионами самария, гарантирующих сохранность информации, а также демонстрацию усиления широкополосной люминесценции ионов висмута в волноводах, записанных в кварцоподобном стекле, принял решение присудить Михайлову Юрию Владимировичу ученую степень кандидата химических наук.

По своему содержанию диссертационная работа отвечает паспорту специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов по направлениям исследований 2. «Физико-химические принципы технологии материалов и изделий из SiТНМ, включают стадии подготовки исходных материалов, смешивания и гомогенизации компонентов, формования заготовок или изделий, их упрочнения, высокотемпературных процессов, обработки материалов и изделий для придания им требуемых свойств, формы и размеров. Конструирование изделий и оснастки. Технологические схемы производства материалов и изделий. Ресурсо- и энергосбережение» и 3 «Физико-химические свойства конденсированных состояний фаз и веществ в коллоидно-

дисперсном состоянии; гетерогенных концентрированных систем твердое – жидкое, твердое – газ, твердое – жидкость – газ в конденсированном и свободно-дисперсном состоянии; исходных материалов; полупродуктов; готовых материалов и изделий в зависимости от химико- минерального состава и структуры (химические, механические, термические, термомеханические, электрофизические, электромагнитные, сегнетоэлектрические, оптические и др.). Диаграммы состояния. Полиморфные переходы. Равновесные и неравновесные состояния».

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 15 докторов наук по профилю рассмотренной диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – **15 (пятнадцать)**, против присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета



Владимир Николаевич Сигаев

Ученый секретарь

диссертационного совета



Ольга Борисовна Петрова



26 июня 2026 года