

Акционерное общество
«Научно-производственное
объединение
Государственный оптический
институт им. С.И. Вавилова»
(АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова»)
ИНН/КПП 7811483834/781101001,
ОКПО 07505944,
ОГРН 1117847038121
ул. Бабушкина, д.36, корпус 1,
Санкт-Петербург, 192171
тел.: (812) 386-73-16,
факс: (812) 560-10-22;
e-mail: info@goi.ru

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Латкина Константина Павловича
«Автоматизация неразрушающего контроля параметров заготовок активных
волоконных световодов на основе измерения интенсивности люминесценции
примеси в безымерсионной среде», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.3.3. – «Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами»

Актуальность темы диссертационного исследования

Активные волоконные световоды – кварцевые оптические волокна (ОВ) с введенными в стеклянную матрицу на стадии изготовления преформы одного или комбинации из нескольких редкоземельных элементов / лантаноидов – являются опорными элементами волоконно-оптических усилителей и волоконных лазеров. Последние выгодно отличаются целым рядом преимуществ от прочих известных конструктивных решений (в частности, полупроводниковых, твердотельных, газовых когерентных источников оптического излучения), в том числе, по пиковой мощности при соответствующих компактировании и пониженном энергопотреблении, возможности кастомизации под конкретное практическое приложение параметров спектра излучения и соответствующих длительности и опционально формы импульса (в случае импульсных источников), а также стабильности рабочих характеристик и ряду прочих факторов.

Очевидно, что процедура производства преформы (или «заготовки») активного ОВ относится к особо ответственным этапам технологического цикла производства активных волоконных световодов. При этом для подавляющего большинства маршрутных карт метрологический контроль параметров преформы предусмотрен только после окончания ее изготовления. Более того, в отдельных случаях, окончательное заключение о соответствии заявленным характеристикам или, наоборот, вывод о некондиции формируется только по результатам тестирования непосредственно

уже вытянутого из этой преформы активного ОВ. И в этом смысле создание отечественной автоматизированной системы мониторинга процесса производства заготовки, с точки зрения оперативного контроля локальной концентрации активных ионов вводимой лигатуры и однородности распределения концентрации активной примеси по длине преформы, и далее на основе их результатов – своевременной отбраковки некондиции и коррекции параметров технологических режимов осаждения, несомненно, является важнейшей отраслевой научно-технологической задачей (особенно в условиях текущего дефицита и высокой стоимости как опорных элементов из особо чистого кварцевого стекла для волоконных световодов, так и химических соединений редкоземельных элементов / лантаноидов – оптически активных добавок). Именно решению этой актуальной проблемы – разработке и реализации автоматизированной системы управления технологическим процессом контроля параметров преформ активных волоконных световодов – и посвящено диссертационное исследование Латкина К.П.

Вышеперечисленные устройства, реализуемые на базе активных ОВ (волоконные лазеры и волоконно-оптические усилители), особо востребованы для оптических приборов медицинской техники, транспорта, лазерной техники, промышленных лазерных систем, изделий военной техники, датчиков контроля и мониторинга состояния окружающей среды, а также целого ряда других практических приложений разнообразных научно-технических направлений, и конечно же для оборудования систем связи современных транспортных высокоскоростных волоконно-оптических сетей передачи данных, реализуемых на базе технологии DWDM («Dense Wavelength Division Multiplexing – «плотное» волновое мультиплексирование / спектральное разделение каналов). Таким образом, актуальность и научная значимость диссертационной работы также подтверждается формально как прямым, так и косвенным соответствием тематики ее исследования направлениям Н1, Н3, Н5 и Н6 Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 24 февраля 2024 г. №145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», приоритетным направлениям №1, 3, 4, 5, 7 и критическим технологиям №11, 12, 14, 19, а также сквозным технологиям №23 и 26 из списка приоритетных направлений и критических технологий, утвержденного Указом Президента РФ №529 от 18.06.2024 г.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертация Латкина Константина Павловича представляет собой целостную научно-исследовательскую работу, посвященную решению важной и актуальной отраслевой научно-технической / научно-технологической задачи, заключающейся в разработке и реализации автоматизированной системы управления технологическим процессом контроля параметров преформ активных ОВ с учётом различных диаметров поверхностей измеряемых объектов, малого размера сердцевин и её возможного расхождения с геометрической осью внедрения которой в производственный процесс позволит уменьшить затраты на ранних стадиях изготовления за счёт своевременной отбраковки некондиционных заготовок.

Структура диссертационной работы соответствует ее содержанию, которое включает в себя введение, четыре главы, заключение, список используемой литературы, включающего 132 наименования и 3 приложения. Работа без приложений изложена на 114 страницах машинописного текста, включая 36 рисунков и 2 таблицы.

Во введении сформулированы актуальность темы исследования, степень проработанности темы, задачи исследования, научная новизна работы, теоретическая и практическая значимость, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен обзор и классификация оптически активных химических элементов, изготавливаемых с их применением активных волоконных световодов и устройств, реализуемых на их основе. Рассмотрены основные технологические этапы процесса производства кварцевых активных ОВ. Представлен сравнительный анализ известных спектроскопических методов контроля концентрации примеси в преформах и ОВ, а также рассмотрены автоматизированные системы, их реализующие. Выявлена и обозначена актуальность проблемы необходимости проведения неразрушающего промежуточного контроля концентрации и однородности распределения активных ионов примеси вдоль длины преформ в процессе их производства без использования иммерсионной жидкости и непосредственно автоматизации указанной метрологической процедуры.

Вторая глава посвящена разработке математической модели процесса люминесценции сердцевины преформы активного волоконного световода в условиях боковой засветки излучением накачки. Приведены результаты ее успешной теоретической и экспериментальной верификации. Представлена полученная эмпирическая зависимость интенсивности излучения люминесценции сердцевины от концентрации некластеризованных активных ионов и мощности накачки, обеспечивающая возможность измерения концентрации активной примеси в условиях меняющейся мощности излучения накачки при наличии эталонной среды с известной концентрацией.

В третьей главе приведена разработанная методика измерения однородности концентрации активной легирующей примеси вдоль длины преформы, приведены результаты ее апробации. Предложено научно-техническое решение, реализующее искомую автоматизированную систему исследования однородности концентрации активной легирующей примеси вдоль длины преформы активного ОВ, отличительной особенностью которой является способность позиционирования системы непосредственно на сердцевину, за счет чего нивелируется потенциально возможный эксцентриситет заготовки – расхождение положения центральной оси сердцевины с центральной геометрической осью цилиндрической поверхности преформы.

Четвертая глава посвящена экспериментальной верификации разработанного аппаратно-программного комплекса автоматизированной системы неразрушающего контроля концентрации и однородности распределения активной легирующей примеси вдоль длины тестируемой преформы активного ОВ в безиммерсионной среде. Сопоставление полученных в ходе проведенной серии тестов результатов измерений с опорными, зарегистрированными с помощью сертифицированной спектроскопической методики, данными, показало хорошее совпадение и повторяемость, что непосредственно подтверждает адекватность и эффективность разработанного аппаратно-программного комплекса.

В заключении представлены основные научные результаты диссертационной работы.

В приложениях приведены листинги ключевых фрагментов разработанных программ для ЭВМ, структура формируемых разработанной программой для ЭВМ файлов, а также акты внедрения результатов диссертационной работы в учебном, научно-исследовательском и производственном процессах.

Научная новизна результатов диссертационной работы

1. Впервые предложена математическая модель люминесценции сердцевины преформы активного волоконного световода, отличающаяся от известных решений наличием боковой накачки и отсутствием специальной иммерсионной среды.
2. Выявлены эмпирические зависимости интенсивности излучения люминесценции сердцевины от концентрации некластеризованных активных ионов и мощности накачки, обеспечивающие возможность оценки концентрации активной примеси в условиях меняющейся мощности излучения накачки при наличии эталонной среды с известной концентрацией.
3. Впервые разработан и реализован метод оперативного неразрушающего контроля концентрации активной примеси в сердцевине преформы ОВ в условиях меняющихся оптических характеристик диода накачки в составе функционирующих автоматизированных систем управления технологическим процессом производства заготовок активных волоконных световодов.
4. Разработаны архитектура и алгоритмы функционирования автоматизированной системы оперативного неразрушающего контроля параметров распределения активной легирующей примеси вдоль длины преформы активного ОВ в процессе ее производства без применения иммерсионной жидкости, а также на их основе предложена методика оценки качества изготовления преформ активных ОВ.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в разработке научно-методических основ построения адекватных математических моделей реализации метода люминесцентной фотометрии и на их базе – научно-технических основ проектирования измерительных систем оперативного неразрушающего контроля концентрации активной легирующей примеси и однородности ее распределения в преформах активных волоконных световодов, внедрение которых непосредственно повышает эффективность функционирования автоматизированных систем управления технологическим процессом производства заготовок таких ОВ.

Практическая значимость диссертационного исследования также не вызывает сомнений и заключается непосредственно в разработке и реализации аппаратно-программного комплекса автоматизированной системы оперативного неразрушающего контроля в безымерсионной среде концентрации активной легирующей примеси и однородности ее распределения в преформах активных волоконных световодов, внедрение которого в производственный процесс обеспечило за счет своевременного выявления некондиции снижение себестоимости продукции на стадии отработки технологических режимов фабрикации преформ активных ОВ на 29%, а в случае их серийного промышленного производства – на 6%.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, достоверность полученных результатов диссертационного исследования

Обоснованность результатов диссертационного исследования подтверждена применением известных теоретических положений. Автор корректно использует научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. В диссертации изучено и критически проанализировано большое количество научных работ отечественных и зарубежных исследователей, по-

священных вопросам измерений спектрометрическими методами концентрации распределения легирующей примеси в преформах ОВ, а также описанию автоматизированных систем и комплексов их реализующих.

Достоверность разработанных математических моделей подтверждается результатами статистического моделирования и экспериментальной апробацией предложенного подхода, выполненной с применением сертифицированного измерительного оборудования. Отдельным подтверждением достоверности результатов является наличие действующих опытных образцов измерительных систем, а также непосредственно заявленного аппаратно-программного комплекса, реализующего предложенные автором методы и подходы, интегрированного в действующую систему автоматизированного управления технологическими процессами производства преформ активных волоконных световодов и успешно внедренного в производственный процесс ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания» (г. Пермь), а также в научно-исследовательские процессы Лаборатории фотоники Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН и образовательный процесс ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 6 профильных международных и российских научно-технических мероприятиях (конференциях, семинарах): «Оптическая рефлектометрия, метрология и сенсорика» (г. Пермь, 2020), «Graphicon-2017» (г. Пермь, 2017), «Оптические технологии в коммуникациях» (г. Самара, 2016), «Всероссийская конференция по волоконной оптике» (г. Пермь, 2015), Всероссийский «6-й семинар по волоконным лазерам» (г. Новосибирск, 2014), «Мир фотоники» (г. Пермь).

По материалам диссертации опубликована 21 печатная работа в рецензируемых научных изданиях, в том числе, 7 статей в журналах, включенных в перечень ВАК, 6 статей в зарубежных научных изданиях, входящих в базы данных цитирования Web of Science и/или Scopus, а также 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Замечания по диссертационной работе

1. В Гл. 2 экспериментальная верификация разработанной математической модели процесса люминесценции сердцевины преформы активного волоконного световода в условиях боковой засветки излучением накачки проводилась не на преформе, а на изготовленном (то есть уже непосредственно вытянутом из заготовки) образце активного ОВ, легированного Er. Учитывая значительный (несколько порядков) разброс геометрических размеров / габаритов преформы относительно волоконного световода, несомненно, требуется привести дополнительные комментарии по обоснованию корректности такого подхода к проверке адекватности модели.
2. В продолжение предыдущего вопроса, какие критерии, их пороговые значения и из каких соображений эти пороговые значения были установлены для верификации модели и проверки ее работоспособности?
3. В тексте диссертации отсутствуют данные по оптическим материалам опорных элементов, из которых были изготовлены преформы активных ОВ, в том числе и использованных при апробации и верификации разработанных моделей и методик оценки концентрации и однородности распределения активной легирующей примеси (включая заготовки, обозначенные по тексту диссертации как «эталонные»). Здесь имеется ввиду производитель (и соответствующая марка

стекла, для каждой из которых характерно уникальное процентное содержание примесей. Например, особо чистые безгидроксильные кварцевые стекла Heraeus Suprasil F300 и OHARA SK-1310 и др. с исходным содержанием примесей не более 0.05 ppm и, наоборот, доступные китайские производители – аналоги КУ-01 (ГОСТ 15130-86), Heraeus Suprasil Standard, Saint-Gobain Spectrosil A and B, Corning HPFS 7980, JGS1, Dynasil 1100/Dynasil 4100 др. с содержанием металлических примесей уже до 5 ppm, а гидроксильных групп – 1000 ppm. Соответственно, возникает вопрос, насколько универсальна разработанная методика и легитимно ли ее применение для преформ из любого оптического материала (любой марки кварцевого стекла), из которого изготовлены опорные элементы.

4. При описании апробации разработанной методики оценки концентрации активной легирующей примеси (п.п. 3.1.2, стр. 67) не приведены сведения о геометрических размерах и параметрах тестируемой заготовки кварцевого ОВ, легированного Er: внешний диаметр, диаметр сердцевин, длина, а также, по возможности, профиль показателя преломления.

5. С чем связан периодический характер измеренных зависимостей распределения интенсивности излучения люминесценции по длине преформы активного ОВ, легированного Er, приведенных на Рис. 20, 21 п.п. 3.1.2 (стр. 68, 69)?

6. Замечания общего характера:

а) По тексту диссертации отсутствует сквозная нумерация формул, что существенно затрудняет восприятие материала в описательной части разработанных математических моделей и измерительных методик.

б) Рис. 6 и 18 дублируют друг друга.

в) Стр. 16 – по-видимому опечатка – «... в так называемых окнах прозрачности волокон... 830 нм, 1310 нм, 1550 нм» – вместо 850 нм.

г) Стр. 21: «Отличие ... от стандартного телекоммуникационного оптического волокна (SMF-28) заключается в наличии...». SMF-28 – это марка одномодового ОВ Corning рек. ITU-T G.652. То есть в данном случае уместно было сослаться на номер рекомендации – ITU-T G.652.

Отмеченные недостатки носят частный характер, не снижают научную значимость диссертационной работы Латкина К.П. и не влияют на общую положительную оценку проведенного исследования.

Заключение

Диссертация Латкина Константина Павловича на тему «Автоматизация неразрушающего контроля параметров заготовок активных волоконных световодов на основе измерения интенсивности люминесценции примеси в безымерсионной среде» по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся решения важной отраслевой задачи разработки нового аппаратно-программного комплекса автоматизированной системы управления технологическим процессом контроля параметров преформ активных волоконных световодов, относящейся к приоритетному

направлению развития науки, технологий и техники Российской Федерации и вносящей ощутимый вклад в развитие экономики страны.

Диссертационная работа соответствует специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» в части пунктов 2, 4, 18 паспорта специальности.

Содержание автореферата диссертации соответствует тексту диссертации, отражает ее содержание, основные положения и результаты исследования.

Диссертация Латкина К.П. является законченным научным исследованием, обладающим научной новизной и практической значимостью, что соответствует требованиям п. 9, 10, 11 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор – Латкин Константин Павлович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Советник генерального директора по инновациям
АО «Научно-производственное объединение
Государственный оптический институт им.
С.И. Вавилова», доктор технических наук, доцент

 / А.В. Бурдин /
« 05 » мая 2025 г.

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело, их дальнейшую обработку и размещение в сети Интернет.

Бурдин Антон Владимирович, доктор технических наук, доцент, советник генерального директора по инновациям

Диссертация защищена по специальности 2.2.15 (05.12.13) – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

Акционерное общество «Научно-производственное объединение Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова»

192171, г. Санкт-Петербург, ул. Бабушкина, д.36, корпус 1,

Тел. +7 (812) 327-00-95

E-mail: a.bourdine@goi.ru

Личную подпись д.т.н., доцента Бурдина А.В. заверяю
Делопроизводитель отдела управления персоналом и
делопроизводства АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова»

Локтионова /