

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

На оппонирование представлены: диссертационная работа объемом 126 страниц, содержащая 36 рисунков, 2 таблицы, список использованных источников (132 наименования) и приложения; автореферат диссертации объемом 20 страниц.

Актуальность темы

Диссертация Латкина Константина Павловича, посвященная разработке автоматизированной системы управления технологическим процессом контроля параметров заготовок активных волоконных световодов на основе измерения интенсивности люминесценции примеси в безымерсионной среде, выполнена на актуальную тему. Это связано с растущей потребностью серийного производства активных волоконных световодов, изготавливаемых с использованием дорогостоящих оптически активных соединений, содержащих ионы редкоземельных металлов. При этом оперативное прогнозирование параметров выпускаемого продукта и повышение эффективности отбраковки некондиционных заготовок, безусловно, имеет важнейшее значение для удешевления производства. Существующий процесс промежуточного контроля заготовок направлен на выявление геометрических параметров и оптических свойств заготовки как пассивной среды. Вместе с тем, одним из ключевых параметров также является однородность концентрации осажденной активной примеси, которая, однако, до настоящего времени не была введена в качестве критерия оценки качества.

Кроме того, использованные в работе методы управления технологическим процессом контроля параметров заготовок активных волоконных световодов позволяют учитывать различные диаметры поверхностей измеряемых объектов и возможное расхождение сердцевины с геометрической осью заготовки, что делает данную тему исследования еще более актуальной в контексте развития технологий производства активных волоконных световодов.

Таким образом, диссертационное исследование Латкина Константина Павловича вносит значительный вклад в развитие систем автоматизации контроля процесса изготовления заготовок оптических волокон и может стать основой для внедрения новых высокоэффективных автоматизированных систем указанного класса в производственный процесс.

Общая характеристика и структура диссертационной работы

Диссертационная работа Латкина Константина Павловича на тему «Автоматизация неразрушающего контроля параметров заготовок активных волоконных световодов на основе измерения интенсивности люминесценции примеси в безымерсионной среде» представляет собой комплексное исследование, направленное на разработку автоматизированной системы контроля параметров заготовок активных волоконных световодов с использованием люминесцентной фотометрии.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сделан вывод о необходимости разработки новых автоматизированных систем управления технологическим процессом контроля однородности концентрации активной легирующей примеси вдоль длины заготовки активного волоконного световода в условиях растущей потребности серийного производства таких световодов, сформулированы цель и задачи исследования.

В первой главе проводится анализ факторов, оказывающих влияние на производство активных волоконных световодов, такие как высокая стоимость используемых химических соединений, человеческий фактор, сложность полноценного контроля физических процессов в ходе модифицированного химического парофазного осаждения. В результате анализа определена необходимость

промежуточного контроля заготовки световода на предмет однородности распределения активных ионов вдоль его длины. Приведен обзор существующих методов измерения концентрации требуемых элементов, выявлены их недостатки. В конце главы представлены краткие выводы о существующих проблемах, на решение которых направлено исследование.

Во второй главе представлена теоретическая основа, позволяющая оценить параметры люминесценции сердцевины заготовки активного волоконного световода в условиях боковой накачки посредством лазерного диода. Автором разработана комплексная математическая модель, учитывающая геометрические параметры цилиндрических заготовок, оптические свойства кварцевого стекла и особенности трехуровневой системы ионов эрбия. Проведены ключевые расчеты: оценка поглощения в сердцевине, анализ дифракционного уширения пучка и коэффициентов пропускания. Особое внимание уделено квантовой модели люминесценции, описывающей динамику заселенности уровней. Разработанная модель верифицирована статистическими методами, получена зависимость, позволяющая измерять концентрацию активной примеси в условиях меняющейся мощности излучения накачки при наличии эталонного образца с известной концентрацией.

В третьей главе представлены результаты разработки автоматизированной системы управления контролем однородности концентрации активной легирующей примеси. Приведена структура системы управления измерениями, описан метод управления в виде последовательности действий, направленных на расчет локальной концентрации активных ионов и компенсацию вносимых в измерения искажений. Разработано программное обеспечение, позволяющее в процессе измерений компенсировать флуктуации мощности источника излучения накачки с помощью эталонных измерений. Разработан вариант автоматизированной системы исследования однородности концентрации активной легирующей примеси вдоль длины заготовки, способный настраиваться на сердцевину оптическими элементами, что позволяет учитывать возможное расхождение сердцевины с геометрической осью цилиндрической поверхности заготовки.

В четвертой главе представлены результаты практической реализации и испытаний разработанной автоматизированной системы. Проверена адекватность результатов, получаемых на автоматизированной системе, с использованием эталонной сертифицированной методики оже-спектроскопии. Проведены измерения тестовой заготовки при различных условиях, продемонстрировавшие повторяемость результатов. Приведены результаты томографических измерений распределения концентрации активной примеси в осевых сечениях заготовки с высоким пространственным разрешением. Указаны сведения о внедрении результатов работы и достигнутый полезный эффект.

В заключении подводятся итоги работы, делаются выводы о достижении поставленных целей и решении задач, обозначенных во введении.

Работа отличается междисциплинарным подходом, сочетая в себе элементы оптики, материаловедения, автоматизации и управления. Исследование решает важную проблему современной фотоники – обеспечение неразрушающего мониторинга сложных оптических материалов, что делает его востребованным как в России, так и на международном уровне.

Структура диссертации четко выстроена: она содержит как теоретические аспекты, так и результаты практической верификации и рекомендации по реализации системы. Главы логично связаны между собой, что создает целостную картину исследования.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений,
выводов и рекомендаций, достоверность и новизна результатов**

Научные положения диссертационной работы основываются на тщательном анализе существующих методов и средств измерения концентрации активной примеси в составе стекол, в том числе с помощью люминесценции, а также на глубокой теоретической проработке. В работе предложен метод неразрушающего контроля параметров распределения активной легирующей примеси, отличием которого является отсутствие специальной иммерсионной среды, что позволило повысить качество производимого изделия.

Достоверность результатов диссертационной работы основана на использовании фундаментальной теоретической базы: законах геометрической и квантовой оптики (законы Френеля, законы Снеллиуса), волновой теории (теория дифракционного уширения пучка, закон Ламберта –Бугера – Бера), законах квантовой физики (кинетические уравнения энергетических переходов электрона), а также сопоставимости измеренных параметров активных ионов в образцах волоконных световодов с данными из литературных источников. Разработанная автором модель учитывает ключевые параметры системы, включая геометрические особенности цилиндрической заготовки, оптические свойства кварцевого стекла и динамику энергетических переходов ионов эрбия, что позволяет с высокой точностью описывать процесс боковой накачки в безымерсионной среде. Достоверность подтверждается комплексной экспериментальной проверкой с использованием специально созданной испытательной установкой и получением статистически значимых данных, верификацией независимыми методами оптической спектроскопии.

Новизна диссертационной работы проявляется в нескольких значимых аспектах. Прежде всего, автором впервые разработана комплексная математическая модель люминесценции при боковой накачке и отсутствии специальной иммерсионной среды. Разработан метод управления технологическим процессом изготовления активных волоконных световодов, обеспечивающий возможность измерения концентрации активной примеси в сердцевине заготовки световода в условиях меняющихся оптических характеристик накачки. Разработан вариант автоматизированной системы научных исследований, позволяющий проводить томографическое измерение концентрации активной примеси в осевых сечениях заготовки, что открывает возможность изучения структуры осажденного слоя.

Научные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы обоснованы и достоверны, а результаты отличаются высокой степенью новизны. Разработанные автором модели, алгоритмы, аппаратное и программное обеспечение автоматизированной системы управления технологическим процессом

контроля концентрации легирующей примеси в оптических заготовках демонстрируют значительный научный и практический потенциал для внедрения в процесс производства активных волоконных световодов.

Практическая значимость работы

Практическая значимость определяется созданием эффективного инструмента контроля качества на этапе изготовления заготовок волоконных световодов. Предложенная методика люминесцентной фотометрии позволяет оперативно и с высокой точностью оценивать распределение концентрации активных ионов вдоль всей длины заготовки, обеспечивая таким образом оперативную отбраковку заготовок ненадлежащего качества, что способствует удешевлению производства. Практическая значимость диссертационной работы подтверждается тем, что ее результаты были внедрены в производственный процесс ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания» в качестве промежуточного контроля качества заготовок, что обеспечило конкретный экономический эффект за счет раннего выявления некондиционных заготовок. Кроме того, результаты внедрены в научно-исследовательскую деятельность Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, что позволило более подробно изучить качество осаждения ионов в процессе изготовления и оценить корректность технологического режима измерений.

Оценка диссертации по ее завершенности, стилю и языку изложения

Диссертационная работа Латкина Константина Павловича представляет собой законченное научное исследование, содержащее решение актуальной научно-технической задачи. Ее содержание изложено последовательно, методически правильно и полностью раскрывает сформулированные и решаемые научные и практические задачи. Работа написана грамотно, хорошим языком, стилистические ошибки и опечатки встречаются редко. Диссертация содержит богатый иллюстрационный материал в виде большого числа рисунков, графиков, фотографий и таблиц. Основные цитируемые положения

сопровождаются ссылками на источники.

Диссертация соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации и в достаточной мере раскрывает ее содержание.

Апробация, публикация результатов работы

Научные и практические результаты работы достаточно полно отражены в 21 научной работе, из которых 7 статей в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени, и приравненных к ним изданиях, входящих в базы цитирования Scopus, Web of Science; получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты работы неоднократно докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях международного и всероссийского уровня.

Замечания по содержанию и оформлению диссертации и автореферата

1. На странице 45 сказано, что «в качестве оптической длины хода взят диаметр сердцевины $d=1,5$ мм», однако это геометрический параметр, не являющийся оптической длиной хода, поскольку не учитывает показатель преломления среды.
2. На рисунке 30 «Система измерения» изображена вне блока «Корпус системы». Означает ли это, что компоненты, входящие в «Систему измерения», находятся вне корпуса?
3. В пункте 3.2.3 сказано, что «на основе данных расчётов представлен метод *управления технологическим процессом изготовления* заготовок активных волоконных световодов...». При этом данный метод заключается «в расчёте локальной концентрации активных ионов и компенсаций вносимых в измерения искажений». Таким образом, описанный метод «управления технологическим

процессом» включает в себя лишь методики расчета и коррекции искажений измерений, однако не включает какого-либо управляющего воздействия, направленного непосредственно на технологический процесс изготовления заготовок, что вызывает противоречие.

4. Раздел 4.1: не ясно, чем обусловлено то, что заранее измеренная заготовка была сегментирована на четыре части, а не на большее количество частей.

5. На страницах 11 и 94 сказано, что сконструированная автоматизированная система неразрушающего контроля «удешевила производство на стадии отработки технологии на 29%, в ходе серийного изготовления продукции – на 6%», однако расчет данных показателей не приведен.

6. В работе есть отдельные опечатки и стилистические ошибки, например:

а) страница 24, абзац после рисунка 2, опечатка: принципальная;

б) на рисунке 10 нет расшифровки обозначений 1, 2, 3;

в) страница 11, п. 3 положений, выносимых на защиту, и страница 12 автореферата: «система *управления контролем* однородности» – формулировка близка к тавтологии, т.к. контроль является одной из функций процесса управления.

Заключение по диссертационной работе

Указанные замечания не ставят под сомнение основные защищаемые положения диссертационной работы, которая заслуживает положительной оценки. Диссертационная работа Латкина Константина Павловича актуальна, обладает внутренним единством, написана автором самостоятельно. Полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью, представлены публикациями в изданиях требуемого уровня. Апробация работы проведена в соответствии с принятыми нормами. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Тема диссертации и область решаемых задач соответствуют паспорту специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Считаю, что диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Латкин

Константин Павлович – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук,
доцент кафедры радиотоники
и микроволновых технологий
ФГБОУ ВО «Казанский национальный
исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ»

Согласен на обработку
персональных данных

«6» мая 2025 г.

Аглиуллин Тимур Артурович

Шифр научной специальности: 05.11.07 «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы» (технические науки)

Адрес: 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Телефон: +7 (843) 231-59-18

E-mail: taagliullin@kai.ru

Подпись Аглиуллин
заверяю. Начальник управл
делопроизводства и контроля

