

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.173.08 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНОБРНАУКИ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «16» февраля 2021 г, протокол № 1

О присуждении Завьяловой Марине Андреевне, гражданке РФ, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и исследование оптических высокоразрешающих датчиков контроля положения рабочих поверхностей для оперативного управления лазерными технологическими процессами» по специальности «05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы» принята к защите «15» декабря 2020 г., протокол № 5, диссертационным советом на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ, 630073, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, приказ о создании совета № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Завьялова Марина Андреевна 1981 года рождения, в 2005 году окончила Новосибирский государственный технический университет по специальности «Оптико-электронные приборы и системы». В период подготовки диссертации соискатель Завьялова Марина Андреевна с 2005 года и по настоящее время работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Конструкторско-технологическом институте научного приборостроения Сибирского отделения Российской академии наук (КТИ НП СО РАН) в должности научного сотрудника и по совместительству исполняет обязанности ученого секретаря.

Диссертация выполнена в лаборатории лазерных промышленных технологий в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Конструкторско-технологическом институте научного приборостроения Сибирского отделения Российской академии наук, Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Чугуй Юрий Васильевич, научный руководитель Федерального государственного бюджетного учреждения науки Конструкторско-технологического института научного приборостроения Сибирского отделения Российской академии наук, Минобрнауки РФ, структурное подразделение – дирекция.

Официальные оппоненты:

Меледин Владимир Генриевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН), лаборатория проблем тепломассопереноса, главный научный сотрудник;

Терентьев Вадим Станиславович, кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН), лаборатория волоконной оптики, старший научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация — Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара **в своём положительном заключении**, подписанном доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой технической кибернетики Куприяновым Александром Викторовичем и утверждённом доктором технических наук, доцентом, первым проректором – проректором по научно-исследовательской работе Прокофьевым

Андреем Брониславовичем, указала, что диссертация Завьяловой Марины Андреевны выполнена на высоком научно-техническом уровне. Результаты работы полностью и своевременно опубликованы в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, прошли апробацию в виде докладов на многих конференциях. Содержание диссертации соответствует указанной специальности. Автореферат полностью отражает содержание, научные положения, выводы, научную новизну, теоретическую и практическую значимость работы. Диссертация Завьяловой М.А. является законченной и самостоятельной научно-исследовательской работой, в которой содержится новое решение важной научно-технической задачи создания высокоразрешающих прецизионных бесконтактных датчиков контроля положения поверхностей, позволяющих определять их положение в ходе лазерных технологических процессов с погрешностью менее 1 мкм. Диссертация Завьяловой М.А. удовлетворяет требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» постановления Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. (ред от 02.08.2016), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.07 – оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Соискатель имеет 32 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 28 работ, из них в рецензируемых научных изданиях – 10 работ, в том числе 6 работ опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК РФ; 4 работы в изданиях, входящих в международные библиографические системы Scopus и Web of Science. Из 10 опубликованных работ Завьяловой М.А. 9 работ опубликованы в соавторстве. В работах, опубликованных в соавторстве, соискатель внёс существенный вклад, не менее 70%. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в печатных научных работах, опубликованных:

В рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ:

1. Разработка конфокального датчика 3D поверхности на основе метода дифракционного хроматического кодирования для целей терагерцовой спектроскопии / А. Г. Верхогляд, **М. А. Завьялова**, Б. А. Князев, М. А. Макаров, М. Ф. Ступак // Сибирский физический журнал. – 2010. – Т. 5. – № 4. – С. 117–122.

2. Разработка и изготовление ближнепольного терагерцового сканирующего оптического микроскопа с блоком нарушенного полного внутреннего отражения / В. П. Барсуков, А. Г. Верхогляд, В. В. Герасимов, И. С. Глебус, **М. А. Завьялова**, Б. А. Князев, С. Н. Макаров, М. Ф. Ступак, В. К. Овчар, Д. Г. Родионов, Ю. Ю. Чопорова, В. Ю. Штатнов // Приборы и техника эксперимента. – 2014. – № 5. – С. 68–76. – DOI: 10.7868/S0032816214040144.

Переводная версия журнала: A terahertz scanning near-field optical microscope with an attenuated total internal reflection module / V. P. Barsukov, A. G. Verhoglad, V. V. Gerasimov, I. S. Glebus, **M. A. Zavyalova**, S. N. Makarov, M. F. Stupak, V. Y. Shtatnov, B. A. Knyazev, V. K. Ovchar, D. G. Rodionov, Y. Y. Choporova // Instruments and Experimental Techniques. – 2014. – Т. 57. – № 5. – С. 579–586. – DOI: 10.1134/S0020441214040125.

3. Круговая лазерная записывающая система для формирования фазовых и амплитудных микроструктур на сферических поверхностях / А. Г. Верхогляд, **М. А. Завьялова**, А. Е. Качкин, С. А. Кокарев, В. П. Корольков // Датчики и системы. – 2015. – № 9-10. – С. 45–52.

4. **Завьялова, М. А.** Поверхностная модификация кварцевого стекла импульсами пикосекундного лазера / М. А. Завьялова // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40. – № 6. – С. 863–870. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-1-863-870.

5. **Завьялова, М. А.** Моделирование и расчет гиперхроматических объективов для волоконных конфокальных датчиков поверхности на основе метода хроматического кодирования / М. А. Завьялова, П. С. Завьялов // Фотоника. – 2017. – № 5 (65). – С. 80–90. – DOI: 10.22184/1993-7296.2017.65.5.80.90.

6. **Завьялова, М. А.** Повышение разрешения волоконного конфокального датчика поверхности на основе метода хроматического кодирования / М. А. Завьялова, П. С. Завьялов, А. Г. Елесин // Приборы. – 2018. – № 11. – С. 1–5.

В рецензируемых научных изданиях, приравненных к перечню ВАК:

7. Optical measuring and laser technologies for scientific and industrial applications / Yu. V. Chugui, A. G. Verkhoglyad, P. S. Zavyalov, E. V. Sysoev, R. V. Kulikov, I. A. Vykhristyuk, **М. А. Zavyalova**, A. G. Poleshchuk, V. P. Korolkov // Int. J. of Automation Technology. – 2015. – Vol. 9. – № 5. – P. 515–524.

На диссертацию и автореферат поступило 9 положительных отзывов:

1. Институт систем обработки изображений РАН – филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, г. Самара. Научный сотрудник лаборатории интеллектуального анализа видеоданных, к. ф.-м. н. Ганчевская София Владиславовна. Отзыв положительный. *Замечания:* 1. На рисунке 1 не приведены размеры для дифракционных изображений пятен. 2. На рисунках 4, 5 подписи трудноразличимы.

2. Акционерное общество "Новосибирский приборостроительный завод", г. Новосибирск. Начальник отдела оптических расчетов, к. т. н. Парко Владимир Львович. Отзыв положительный. *Замечаний нет.*

3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук. Руководитель научного направления "Нанотехнологии и информационные технологии", д.т.н., профессор Потатуркин Олег Иосифович. Отзыв положительный.

Замечания: 1. В п. 1 научной новизны не отражены конкретные результаты исследований разработанного датчика автоматической фокусировки на основе ножа Фуко, а указан лишь сам факт их проведения. 2. В автореферате не уделено достаточного внимания сравнительному анализу предлагаемых методов и разработанных датчиков с известными отечественными и зарубежными аналогами (в первую очередь в части технических характеристик). 3. Новые технические решения, предложенные в диссертационной работе, не защищены патентами.

4. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». Профессор кафедры лазерных и оптико-электронных систем, д. т. н. Одинокоев Сергей Борисович. Доцент кафедры лазерных и оптико-электронных систем, к. т. н. Ковалев Михаил Сергеевич. Отзыв положительный. *Замечания:* 1. На стр. 11 говорится о том, что марки стекол для объектива выбираются из шоттовского каталога. Чем это определено (из автореферата не ясно), хотя известны российские марки стекол ЛЗОС? 2. Наличествуют множество опечаток, не вполне понятных фраз, неточностей, например, на стр. 3-4 приводится «... создать на ее основе микроскоп записи...» - ?, на стр. 11 описывается «...снижение нелинейности объектива...» - было бы интересно узнать, что это за характеристика, на стр. 13 «... в регистрации изменения радиуса кривизны отраженного от поверхности излучения...» - было бы лучше сформулировать так – «... кривизны отраженного излучения от исследуемой поверхности...» и т.д. 3. На стр. 16 в Заключение сформулировано следующее утверждение как результат – «Впервые определена средняя скорость абляции оптически прозрачных материалов (кварцевого стекла и кремния) при облучении поверхности одиночным импульсом». Однако известно множество работ, проведенных учеными в ИОФ РАН, ФИАН, МГУ им. Ломоносова на эту тему в области фемто-, нано- и пикосекундной лазерной структурной модификации различных диэлектриков.

5. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук. Старший научный сотрудник, к.ф.–м. н. Галилейский Виктор Петрович. Отзыв положительный. *Замечаний нет.*

6. Новосибирский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники. Младший научный сотрудник, к.т.н. Голицын Александр Андреевич. Отзыв положительный. *Замечаний нет.*

7. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук. Главный научный сотрудник, д. ф.–м. н., профессор Князев Борис Александрович. Отзыв положительный. *Замечаний нет.*

8. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», Институт оптики и технологий информационной безопасности. Доцент кафедры физики, к. т. н. Чесноков Дмитрий Владимирович. Отзыв положительный. *Замечания:* 1) Пункты 2 и 4 раздела «Научная новизна», в том виде, как они сформулированы, относятся, скорее, к практической значимости работы. 2) Обилие представленных технических решений не подтверждено патентами. 3) К недостаткам оформления автореферата можно отнести некоторую неразбериху с терминологией, использование синонимичных и жаргонных фраз и обозначений, например – «предложено использовать в качестве датчика поверхности» (стр. 6, последний абзац).

9. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук. Старший научный сотрудник, д. ф.–м. наук Хасанов Тохир. Отзыв положительный. *Замечания:* 1. Необходимо заметить, что диссертант Завьялова

Марина Андреевна и ее соавторы в опубликованных работах используют выражение «...впервые в России...», смысл этого выражения неоднозначный. Оно скорее умаляет достигнутые результаты и ценность работы, поскольку вся работа оригинальная.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается близостью решаемых ими научных задач к тематике диссертационной работы Завьяловой М.А., их широкой известностью и достижениями в области лазерно-оптических систем и технологий, наличием публикаций в соответствующей области исследования и способностью определить практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан модифицированный высокоразрешающий датчик автоматической фокусировки на основе ножа Фуко с расширенным рабочим диапазоном для записи дифракционных оптических элементов с бинарным и кусочно-непрерывным рельефом поверхности, прецизионных микрооптических элементов на плоских и криволинейных поверхностях;

разработан прототип высокоразрешающего конфокального датчика поверхности на основе хроматического кодирования с погрешностью измерения смещения объекта не более 0,2 мкм;

проведено исследование влияния параметров оптических схем бесконтактных высокоразрешающих датчиков поверхности на их предельные характеристики в составе лазерных технологических установок, проведено компьютерное моделирование в программном обеспечении Zemax Optical Studio аналитических зависимостей сигналов с таких датчиков от смещения, наклона и кривизны исследуемой поверхности, а также радиуса расходимости зондирующего излучения;

предложен новый метод контроля и мониторинга процесса абляции оптических прозрачных сред на основе волнового датчика Шака-Гартмана, который позволяет

получить экспериментальные зависимости скорости абляции при облучении их поверхности одиночным импульсом пикосекундной длительности;

разработан микроскоп записи, в состав которого вошел датчик автоматической фокусировки на основе ножа Фуко, **созданы и внедрены** круговые лазерные записывающие системы на его основе для синтеза бинарного и кусочно-непрерывного профиля на плоских и криволинейных широкоапертурных поверхностях при скорости движения лазерного пучка до 10 м/с.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

изложены новые данные, вносящие вклад в расширение представлений о контроле положения плоских и криволинейных поверхностей с помощью введения в оптическую схему лазерных технологических установок датчика автоматической фокусировки на основе ножа Фуко;

изучено влияние положения ножа Фуко и угла наклона контролируемой поверхности на расстояние, в пределах которого датчик автоматической фокусировки позволяет определять ее смещения в составе лазерных технологических установок, что сделало возможным выбором указанных параметров синтезировать дифракционные элементы высокого качества на плоских и криволинейных поверхностях (ошибка формируемых ими волновых фронтов не превышает $\lambda/100$);

раскрыт способ увеличения разрешающей способности волоконного конфокального датчика на основе хроматического кодирования путем фильтрации выходного сигнала с помощью аподизирующей маски;

предложены методы расчета гиперхроматических объективов с увеличенной продольной хроматической aberrацией (остаточная нелинейность порядка 1 %);

предложен метод контроля абляции на основе анализатора волнового фронта Шака-Гартмана, позволяющий контролировать с высокой точностью положение оптических прозрачных сред (погрешность менее 0,1 мкм);

доказано, что введение аподизирующей маски в оптическую схему гиперхроматических объективов конфокальных датчиков позволяет уменьшить погрешность определения положения контролируемой поверхности более чем в 4 раза.

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

представлены практические рекомендации по проектированию датчика автоматической фокусировки на основе ножа Фуко для лазерных технологических установок, позволяющие увеличить его рабочий диапазон (в 10 и более раз), а также применению данного датчика для контроля положения криволинейных поверхностей;

представлен новый метод контроля и мониторинга процессов абляции поверхности оптических прозрачных сред на основе волнового датчика Шака-Гартмана, позволяющий определить оптимальные режимы пикосекундной лазерной обработки;

определены оптимальные режимы абляции поверхности оптических прозрачных сред лазерными импульсами пикосекундной длительности для эффективного управления глубиной дифракционных и микрооптических элементов в процессе их прямого профилирования;

разработаны промышленные образцы лазерных технологических установок на основе датчика автоматической фокусировки с ножом Фуко и волоконным конфокальным датчиком с хроматическим кодированием расстояния до исследуемой поверхности;

разработанные системы внедрены в Харбинском институте технологий (КНР, г. Харбин), Самарском государственном аэрокосмическом университете (Россия, г. Самара), АО «Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова» (Россия, г. Екатеринбург), АО «Новосибирский приборостроительный завод» (Россия, г. Новосибирск), на которых изготовлены

такие виды оптических элементов как дифракционные линзы, решетки, моданы, аксиконы, фильтры угловых гармоник, а также лимбы для фотоэлектрических и оптико-механических углоизмерительных приборов. В Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук проведены исследования пространственного распределения биомедицинских объектов и тонких пленок в области эванесцентных терагерцовых волн.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

идеи базируются на анализе практики применения различных методов определения положения исследуемых поверхностей в научной литературе и лучших зарубежных решениях таких систем контроля;

экспериментальные результаты получены на современном оборудовании с современными методиками регистрации, сбора и обработки данных, с достаточным объёмом полученных теоретических и экспериментальных воспроизводимых результатов;

теория построена на известных, проверяемых данных и согласуется с опубликованными экспериментальными данными, представленными в независимых источниках;

проведено сравнение характеристик созданных экспериментальных образцов систем контроля положения поверхностей различных материалов с лучшими решениями систем высокоразрешающего контроля, предлагаемыми известными мировыми производителями.

В результате исследований **создана** двухканальная круговая лазерная записывающая система для синтеза микроструктурированных компонентов новой элементной базы оптоэлектронного приборостроения, фотоники и микромеханики. Система находится в эксплуатации в АО «Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова» (Россия, г. Екатеринбург) с 2015 г. (акт внедрения приведен в приложении «Б»). КТИ НП СО

РАН совместно с ИАиЭ СО РАН удостоены золотой медали и диплома I степени в номинации «Лучший инновационный проект (разработка) в области приборостроения, отечественной элементной базы, отечественных компьютеров и комплектующих» (XXII Международная выставка-конгресс «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (HI-TECH 2016), 15–17 марта 2016 г., г. Санкт-Петербург, Россия). **Разработан** прецизионный лазерный технологический комплекс для производства оптических шкал, сеток, фотошаблонов и синтезированных голограмм на основе лазерной трехмерной микро- и нанообработки, который поставлен в АО «Новосибирский приборостроительный завод» (Россия, г. Новосибирск, 2015 г.), что подтверждено актом внедрения в приложении «Б». КТИ НП СО РАН совместно с ИАиЭ СО РАН получен диплом II степени за лучшую отечественную разработку в области лазерной аппаратуры и лазерно-оптических технологий в номинации «Лазерные технологические комплексы и технологии для обработки промышленных материалов» (11-я международная специализированная выставка лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики – 2016», г. Москва, 2016 г.).

Личный вклад соискателя состоит в исследовании влияния параметров оптических схем высокоразрешающих оптико-электронных датчиков поверхности на их предельные характеристики в составе лазерных технологических установок. Представленные в работе результаты получены лично автором и при его непосредственном участии при проведении теоретических и экспериментальных работ. Им проведены моделирование и оптимизация датчика автоматической фокусировки для лазерных круговых записывающих систем и конфокального датчика с хроматическим кодированием, предложено использовать в качестве датчика поверхности датчик на основе микролинзового раstra. Для волоконных конфокальных датчиков рассчитаны гибридные рефракционно-дифракционные и гиперхроматические объективы, позволяющие формировать хроматические отрезки различной длины (100–700 мкм). При непосредственном участии автора созданы, испытаны и внедрены коммерческие модели современных круговых лазерных

записывающих систем на предприятиях, находящихся как в России, так и за рубежом. Кроме того, автором проделан большой объем работ по созданию экспериментального стенда, позволяющего осуществлять поверхностную модификацию прозрачных материалов импульсами пикосекундного лазера. Также автором осуществлены обработка и интерпретация экспериментальных данных, подготовка основных публикаций по выполненной работе. В работах, опубликованных в соавторстве, соискатель внёс существенный вклад: не менее 70%.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно-обоснованные результаты, имеющие существенное значение для развития систем прецизионного контроля рабочих поверхностей в ходе лазерных технологических процессов. Диссертация соответствует пунктам 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842.

На заседании 16 февраля 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Завьяловой Марине Андреевне учёную степень кандидата технических наук по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.11.07, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введённых на разовую защиту нет, проголосовали: за – 16, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель предс

Учёный секретарь

16 февраля 2021 г.

Капитонович Дмитриев

им Андреевич Степанов