

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Завьяловой Марины Андреевны на тему:

«Разработка и исследование оптических высокоразрешающих датчиков контроля положения рабочих поверхностей для оперативного управления лазерными технологическими процессами», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

Актуальность темы диссертации. История развития технологий высокоточной лазерной обработки материалов насчитывает десятилетия. Появление новых типов лазеров формирует новые научно-технические направления, связанные с решением ряда измерительных проблем. Оптико-электронные бесконтактные датчики, разработке которых посвящена диссертационная работа Завьяловой М.А., позволяют определять положение обрабатываемых поверхностей в высокоскоростных лазерных технологических процессах и при исследованиях материалов с высоким пространственным и временным разрешением. Актуальность темы диссертации, посвященной разработке методов и средств высокоточного позиционирования фокусирующих микрообъективов при разработке современных лазерных систем для науки и промышленности, несомненна.

Оценка содержания работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемых источников, списка сокращений и двух приложений.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, показаны особенности развиваемого научного направления и главные задачи исследования, сформулированы наиболее важные научные результаты и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ известных оптических бесконтактных методов определения положения объектов с субмикронным разрешением и датчиков на их основе. Показано, что коммерчески доступные датчики не могут встраиваться в лазерные каналы, содержащие

фокусирующие микрообъективы. Необходима разработка новых оптических схем датчиков положения, совмещенных с оптикой подобных каналов. Сформулированы требования к датчикам положения для лазерных технологий ультратонкой обработки поверхности материалов.

Во второй главе представлены результаты исследований датчика автоматической фокусировки на основе ножа Фуко. Проведено компьютерное моделирование, показаны проблемы, связанные с его встраиванием в круговые лазерные записывающие системы. Выполнен анализ влияния положения ножа Фуко и угла наклона обрабатываемой поверхности на рабочий диапазон. На основе результатов моделирования спроектирован микроскоп записи для круговых лазерных записывающих систем, проведены его экспериментальные исследования. Показано, что датчик на основе ножа Фуко позволяет контролировать положение плоских и криволинейных поверхностей в фокальной плоскости фокусирующего микрообъектива с погрешностью не более $\pm 0,2$ мкм в диапазоне ± 60 мкм и угле наклона касательной к поверхности до 8° .

В третьей главе, посвященной разработке конфокального волоконного датчика на основе хроматического кодирования, представлены результаты теоретических расчетов его основных компонентов – гибридных рефракционно-дифракционных и гиперхроматических объективов. Экспериментально показано, что такие датчики определяют положение контролируемых поверхностей с высоким разрешением (погрешность не превышает $0,1-1$ мкм) на рабочих отрезках $20-225$ мкм.

В четвертой главе представлен предложенный автором метод на основе анализатора волнового фронта Шака-Гартмана для контроля синтеза микро– и наноструктур на поверхности оптически прозрачных сред с помощью лазерной абляции пикосекундными импульсами. Представлены результаты экспериментальных исследований по высокоточной обработке кварцевого стекла марки КУ-1 и кремния.

В заключении содержатся выводы, отражающие основные научные результаты диссертационной работы и подтверждающие ее перспективность.

В приложении «А» представлены акты внедрения, в том числе справка об использовании результатов диссертационной работы в научных центрах (в Харбинском институте технологий (КНР), Самарском государственном аэрокосмическом университете (Россия, г. Самара) и Сибирском центре синхротронного и терагерцового излучения на базе Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (Россия, г. Новосибирск)), в приложении «Б» – на промышленных предприятиях (АО «Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова» (Россия, г. Екатеринбург), АО «Новосибирский приборостроительный завод» (Россия, г. Новосибирск)).

Научная новизна положений диссертации Завьяловой М.А. связана с решением важной научно-технической проблемы совмещения оптической схемы датчика автоматической фокусировки на основе ножа Фуко с технологическим каналом круговых лазерных записывающих систем, разработкой методов расчета основных элементов волоконных конфокальных датчиков на основе хроматического кодирования, исследованиями метода определения положения оптических прозрачных сред на основе анализатора волнового фронта Шака-Гартмана и результатами его применения для определения параметров ультратонкой обработки кварцевого стекла и кремния.

Практическая значимость успешно подтверждена полученными практическими результатами по синтезу микро- и наноструктур на плоских и криволинейных поверхностях, результатами исследований материалов в терагерцовом диапазоне и эффективностью созданных в работе датчиков.

Обоснованность положений и выводов исследования подтверждена апробацией работы в виде докладов на российских и международных научных конференциях и симпозиумах, публикацией 28 научных работ, написанных в соавторстве и самостоятельно, а также представленной рукописью диссертации, содержащей ссылки на 87 отечественных и зарубежных научных публикаций.

Важным научным и практическим результатом диссертационного исследования является создание новых бесконтактных датчиков для контроля положения поверхности с разрешением менее 1 мкм. Выполнены исследования влияния параметров оптических схем на точностные характеристики датчиков. Созданные датчики **успешно внедрены** в лазерные технологические установки, востребованы на крупных отечественных предприятиях и за рубежом.

Диссертационная работа имеет некоторые недостатки и содержит отдельные дискуссионные моменты.

1. При расчете гиперхроматических объективов особое внимание уделено продольной хроматической аберрации. Возможно, в расчетах следовало бы учесть влияние иных аберраций.

2. В работе не рассмотрено влияние спектральных характеристик источников белого света, используемых в волоконных конфокальных датчиках с хроматическим кодированием. Из-за неравномерности спектра и технологического разброса это влияние может быть весьма существенным.

3. В работе экспериментально получены некоторые значения скорости абляции кварцевого стекла и кремния, указанные в нм/имп. для пятна диаметром около 3 мкм. Каким образом можно использовать эти данные при обработке этих материалов лазерным излучением, если будет использована другая оптическая схема записи?

Отмеченные недостатки диссертации носят редакционный характер и не влияют на общую положительную оценку результатов работы по существу.

Диссертационная работа обладает **внутренним единством, результаты опубликованы**, в том числе в изданиях по списку ВАК. **Содержание автореферата соответствует диссертации.**

В диссертации предложены новые научно-обоснованные решения, важные для создания высокоточных систем прецизионной обработки материалов, в том числе, оптических прозрачных, приведены сведения о

практическом использовании полученных автором научных результатов на промышленных предприятиях и в научных центрах.

Диссертационная работа Марины Андреевны Завьяловой удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Официальный оппонент

Меледин Владимир Генриевич

доктор технических наук, профессор,
лауреат Государственной премии РФ,
премии правительства РФ.

Главный научный сотрудник ФГБУН
Институт теплофизики
им. С.С. Кутателадзе Сибирского
отделения Российской академии наук
(ИТ СО РАН)

В.Г. Меледин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 1.

Web: <http://www.itp.nsc.ru> Телефон: +7(383) 330-90-40

Адрес электронной почты: meledin@itp.nsc.ru

Подпись доктора технических наук, профессора Меледина Владимира Генриевича удостоверяю

Ученый секретарь ИТ СО РАН, к.ф.-м.н. Макаров М.С.

Отзыв получен 27.01.2021

А. Степанов М.А.

*С отзывом ознакомлена,
28.01.2021 Завьялова М.*