

официального оппонента на диссертационную работу Булушева Евгения Дмитриевича «Разработка алгоритмов и программных средств для определения оптимальных параметров лазерной микрообработки по данным систем технического зрения и оптических профилометров», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертационная работа Е.Д. Булушева посвящена разработке алгоритмов, математических методов и комплексов программ, позволяющих при проведении исследований и разработок технологий лазерной микрообработки упростить и автоматизировать анализ данных о результатах лазерного воздействия, получаемых с помощью оптических микроскопов и профилометров. Целью исследований обозначено создание комплекса программных средств для автоматизации определения технологических параметров лазерной микрообработки, обеспечивающих создание объектов с минимальными дефектами

Актуальность исследования обусловлена тем, что при разработках современных лазерных микротехнологий и на этапе производства изделий с использованием микротехнологий и имеющих сложную контролируемую микроструктуру всесторонний полный контроль качества обработок затруднён в связи с большим объёмом информации.

Научная новизна положений диссертации заключается в оригинальном подходе к решению проблемы ускорения анализа результатов оптических измерений в области зоны лазерной обработки: предлагается сопоставлять изображения обработанной зоны с проектной трёхмерной моделью (*CAD* - моделью) зоны обработки. Новыми являются также разработанный в рамках этого подхода быстрый алгоритм сопоставления и метод анализа изображений зоны векторной лазерной микрообработки, позволяющий определять геометрические параметры объектов.

Эффективность подхода подтверждена тем, что впервые продемонстрировано автоматическое определение рекомендуемых режимов лазерной фемтосекундной обработки хрупких материалов (стекла ВК7). Следует отметить разработку регрессионной модели зависимости глубины микроканалов, получаемых при фемтосекундной лазерной обработке, от параметров лазерного облучения.

Обоснованность положений и выводов исследования подтверждается апробацией работы в виде докладов на научных конференциях, в том числе, международных,

публикацией 19 научных работ, написанных в соавторстве и самостоятельно, а также представленной рукописью диссертации, содержащей ссылки на 183 научных публикации.

Одной из основных решаемых исследованием задач является определение оптимальных режимов лазерной микрообработки на основе статистических методов анализа экспериментальных данных. Степень решения задачи характеризуется тем, что демонстрируется возможность оптимизации режимов высокоскоростной фемтосекундной лазерной микрообработки с помощью разработанных алгоритмов и регрессионного анализа данных, существенно ускорено определение режимов облучения при формировании микроканалов в хрупком стекле со средней погрешностью менее 10%, обеспечивается ряд качественных показателей технологий лазерной микрообработки, в том числе, минимизация дефектов в виде сколов, обеспечение шероховатости дна менее 0,5 мкм. Полученные результаты позволили выполнить заказы промышленных предприятий по лазерной микрообработке изделий.

Диссертационная работа содержит некоторые спорные моменты и имеет недостатки.

Так, при разработке технологических процессов ставится задача оптимизации соотношения качество/скорость обработки материала, как будто бы допустимо жертвовать необходимыми требованиями по качеству в угоду обеспечения производительности.

Планирование эксперимента по набору статистики при выборе режимов лазерного воздействия, в том числе, выбор набора исследуемых факторов, произведено без привлечения моделей взаимодействия лазерного излучения с веществом и не учитывает требования по качеству изготавливаемых с применением лазерного воздействия изделий, например, требований по точности взаимного позиционирования элементов структур изделия; примером возможного следствия не учёта моделей взаимодействия излучения с веществом является систематическое проявление на изготовленных структурах специфических эффектов фемтосекундного лазерного воздействия в виде микросколов.

Недостатком является отсутствие анализа методов решения аналогичной задачи в близкой отрасли промышленности – при производстве изделий микроэлектроники.

Недостатком является не очень удачный выбор средней погрешности получения некоторого геометрического размера, выражаемой в процентах от его величины, в качестве критерия оптимальности режимов обработки, тогда как на практике необходимо знание абсолютного значения отклонения от заданной величины и её соответствия

предельно-допустимому значению; средняя относительная погрешность не позволяет объективно оценить уровень качества лазерной микрообработки.

Отмеченные погрешности диссертации не влияют на общую положительную оценку её результатов.

В диссертации предложены новые научно-обоснованные решения, имеющие значение для создания технологий прецизионной обработки материалов, приведены сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов на промышленных предприятиях. Аргументация предложенных решений научно обоснована, основные результаты диссертации опубликованы, в том числе, в изданиях по списку ВАК.

Содержание автореферата соответствует диссертации.

Совокупность представленных результатов позволяет считать, что диссертационная работа Е.Д. Булушева удовлетворяет всем требованиям, предъявляем к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18.– «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

профессор, доктор технических наук,
Сибирский государственный университет
геосистем и технологий, г. Новосибирск

Чесноков
Чесноков В.В.

