

Отзыв официального оппонента

на диссертацию ЛИ ЛИНЬ «Аппаратно-программный лазерный комплекс для исследования параметров высокотемпературного горения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Актуальность работы. Синтез материалов на основе нанопорошков и микропорошков металлов является одним из основных методов производства и исследования новых материалов. Процессы высокотемпературного синтеза, как правило, сопровождаются интенсивной фоновой засветкой, а в некоторых условиях, разлетом продуктов горения, что затрудняет, или делает невозможным исследование динамики таких процессов. Визуализация процесса горения с помощью простой скоростной съемки, широко применяемой в настоящее время для исследования быстропротекающих процессов, позволяет наблюдать только свечение плазмы, окружающей горящий образец. Плазма экранирует поверхность самого образца. В связи с этим актуальной задачей является разработка методов и средств экспериментальных исследований процессов горения, для которых фоновая засветка, возникающая при горении, не препятствует наблюдению или измерению характеристик. В диссертационной работе Ли Линь представлено несколько новых методов, разработанных на основе лазерных технологий для исключения влияния широкополосной фоновой засветки и исследования поверхности горящих образцов нанопорошка алюминия и его смесей в режиме реального времени.

Одним из таких методов является применение проекционных систем с усилителями яркости на парах металлов. В этом качестве, активная среда на парах бромида меди имеет преимущества, благодаря более высокой частоте следования импульсов генерации и более низкой рабочей температуре по сравнению с лазерами на парах чистых металлов.

Структура и объем работы. Диссертационная работы Ли Линь состоит из введения, литературного обзора, главы с описанием объекта исследования и методов исследований, двух глав с описанием результатов исследований, заключения, в котором сформулированы основные результаты и выводы, и одного приложения, в котором представлен акт использования результатов работы в учебном процессе. Список литературы содержит 162 источника. Результаты

диссертационных исследований изложены на 163 страницах машинописного текста, включая 95 рисунков и 4 таблицы.

Содержание диссертации. Во введении показана актуальность направления исследований и степень проработки теоретических и практических вопросов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная и практическая значимость, новизна полученных результатов и сделаны выводы.

В первой главе диссертации приведены общие сведения о свойствах нанопорошков металлов, представлены характеристики процессов горения порошковых металлов. Перечислены аппаратура и методы, которые используются в настоящее время для исследования исходных материалов, продуктов сгорания и процесса горения нанопорошков. В частности, приведены существующие методы визуализации на основе лазерного излучения, которые применяются для визуализации высокотемпературных процессов. Показана актуальность тематики исследования процессов горения нанопорошков металлов и потребность в лазерных методах диагностики процессов горения в режиме реального времени.

Во второй главе диссертации рассмотрены методы скоростной визуализации для исследования процессов горения металлических нанопорошков: регистрация в собственном свете, применение лазерной подсветки и лазерного мониторинга. Приводятся схемы экспериментов, как известные из литературных источников, так и разработанные диссертантом. Отмечается, что оптические характеристики активной среды на парах бромида меди зависят от ее параметров, таких как концентрация рабочего вещества в активном объеме и присутствия добавки бромоводорода, а также от мощности накачки. Указывается на необходимость оптимизации этих условий с целью уменьшения радиальной неоднородности излучения. Приводится схема эксперимента для исследования двухпроходowego усиления, которое имеет место в лазерном мониторе.

В диссертации предлагается использовать лазерный монитор для наблюдения инициирования процесса горения лазерным излучением непосредственно в области инициирования. Предлагаются варианты схем эксперимента. Кроме того, предлагается схема лазерного монитора, позволяющая увеличить дальность наблюдения, в том числе осуществлять сканирование образца. Предложенная модификация лазерного монитора представляет интерес для исследования процессов горения, сопровождающихся значительным факелом. Применительно к дистанционному исследованию процесса горения рассматриваются два других оптических метода: лазерная подсветка и метод корреляции цифровых спекл изображений.

В третьей главе диссертации приведено описание полученных результатов с использованием экспериментальных схем, описанных во второй главе. Приводятся результаты исследования характеристик усилителя яркости и результаты использования различных схем для наблюдения процесса горения нанопорошков металлов. Представлены полученные изображения, временные параметры для определения процессов горения нанопорошков и выводы по результатам наблюдения процессов горения. По результатам исследования делаются выводы о границах применимости и перспективности рассмотренных методов и оборудования для исследования процессов горения нанопорошков.

В четвертой главе приводятся результаты разработки метода корреляции спекл-изображений, которые включают исследование влияния размера спеклов, размера выборки, расчетной формулы и других параметров расчета на величину коэффициента корреляции. Представлены результаты исследования процессов горения металлических нанопорошков с использованием метода корреляции цифровых спекл-изображений. Приведены результаты использования комплексного экспериментального подхода, заключающегося в одновременном применении нескольких методов исследования процесса горения: записи видео горения, регистрации интенсивности собственного свечения, лазерного мониторинга, анализа коэффициента корреляции и интенсивности спекл-изображений.

В заключении диссертации сделано обобщение результатов выполненных исследований, выделены и изложены с краткой аргументацией общие и частные выводы по работе.

В диссертации сформулированы следующие **защищаемые положения**.

1. Неоднородность усиления в центре пучка, характерная для лазеров на парах металлов, может выравниваться в первые 7–10 нс (18 нс для ГРТ большого активного объема) путем оптимизации концентрации паров рабочего вещества и введения активной добавки HBr. При этом не обеспечивается равномерный профиль на протяжении всего импульса генерации, который не влияет на качество изображения объекта, расположенного на расстоянии до 1 м от активного элемента.

Исследование радиального распределения усиления активной среды усилителя яркости проводилось с целью выявления влияния условий работы усилителя яркости на профиль усиления и интенсивность пучка излучения и поиска оптимальных режимов визуализации. Исследование проводилось с использованием плоского зеркала. Очевидно, что в реальном лазерном мониторе пучки, несущие изображение, распространяются не параллельно оси газоразрядной

трубки. Поэтому оптимальные условия для реальной схемы лазерного монитора будут отличаться от оптимальных условий для идеализированного случая. Тем не менее, оптимальные условия для параллельного пучка находятся в диапазоне оптимальных условий для реальной схемы лазерного монитора. Таким образом, проведенные автором диссертации исследования необходимы для обеспечения качественной визуализации.

2. Изменение яркости изображений, формируемых усилителем яркости, позволяет оценивать изменение коэффициента отражения поверхности горящего образца нанопорошка в диапазоне до 2,5 раз в режиме реального времени со скоростью нарастания до 180 %/с.

В процессе горения порошковых материалов, коэффициент отражения поверхности изменяется вследствие изменения структуры, состава и цвета материалов. Измерение относительного изменения коэффициента отражения позволяет оценить влияние протекающих при горении процессов на структуру поверхности. По изменению интенсивности отраженного света в месте наблюдения лазерным монитором можно определить количество и временные параметры волн горения, скорость образования вещества. Предложенный метод оценки изменения коэффициента отражения на основе усиления яркости представляет собой новый объективный способ исследования процесса горения нанопорошков.

3. Разработанный аппаратно-программный комплекс позволяет проводить качественный и количественный анализ динамики процессов горения нанопорошков на расстоянии до 0,5 м, что превосходит возможности имеющихся лазерных мониторов.

С целью расширения области применения систем визуализации на основе усиления яркости и создания аппаратуры безопасного исследования веществ, горение которых сопровождается значительным разлетом продуктов горения, автором диссертационной работы предлагается увеличить расстояние до объекта наблюдения – горящего порошка или смеси порошков металлов до 0,5 м.

Разработанный аппаратно-программный комплекс позволяет на расстоянии ~ 0,5 м регистрировать лазерные спекл-изображения и реальный вид процесса горения. Полученные изображения в процессе анализа численно обрабатываются для получения количественной информации о протекающих процессах. Метод предполагает, в дополнение к регистрации изображений, проводить регистрацию интегральных параметров яркости с помощью фотодиодов и осциллографа. Это нововведение позволяет получать количе-

ственные характеристики процесса горения не только в результате постобработки записанных видеоданных, но и непосредственно в процессе горения.

4. Метод корреляции цифровых спекл-изображений позволяет определять скорость протекания и время стадий горения нанопорошков металлов в воздухе.

Метод корреляции цифровых спекл-изображений является оптическим методом диагностики физических изменений объектов в результате воздействий или протекания химических процессов, и широко применяется в промышленном неразрушающем контроле и в биологических исследованиях. В данной диссертационной работе, метод корреляции цифровых лазерных спекл-изображений впервые использовался для определения временных характеристик и стадий процесса горения нанопорошков металлов в воздухе.

В целом, основные выводы по работе Ли Линь, сформулированные в разделах научная, практическая новизна и значимость работы подтверждены проведенными в работе исследованиями и полученными результатами.

Имеются замечания и вопросы по работе.

1. Схема накачки усилителя яркости является важнейшим компонентом экспериментальной установки, и от ее работы существенно зависит качество экспериментальных результатов. В диссертационной работе отмечается, что «накачка активной среды осуществлялась тиратронным генератором импульсов», однако не приводятся параметры схемы. Какие были параметры схемы накачки и каким образом они выбирались?
2. В работе исследовалось влияние параметров работы усилителя яркости на характеристики излучения, в том числе влияние активной примеси HBr. В чем, согласно литературным источникам, заключается физический принцип влияния добавки легко ионизируемых примесей на работу лазеров на самоограниченных переходах в парах металлов?
3. В качестве личного вклада указано «построение оптических схем экспериментов». Каким образом выбирались параметры элементов? Рассчитывались или подбирались эмпирически?
4. В работе использовались три скоростные камеры, в том числе одна монохромная, приводятся параметры камер. Однако отсутствует вывод, какая из камер является наиболее предпочтительной для регистрации спекл-изображений и изображений лазерного монитора.
5. Фронт горения образца движется, изображение перемещается. Очевидно, что это приводит к расфокусировке оптической схемы. Какова величина этих перемещений при горении образцов нанопорошков?

6. Схема на рис. 2.10 диссертации является достаточно сложной. В диссертации следовало бы привести и пояснить назначение всех элементов схемы.

7. Результаты визуализации с помощью лазерного монитора получены при оптимальных параметрах работы усилителей яркости, которые предварительно были определены. В качестве пожелания хотелось бы видеть результаты влияния неоднородности профиля усиления на качество изображений реальных объектов при отклонении условий работы усилителей яркости от оптимальных условий.

Работа хорошо апробирована. Материалы исследований, изложенные в диссертации, опубликованы достаточно полно в 8 основных статьях в рецензируемых журналах из списка рекомендованных ВАК и в зарубежных журналах, а также в 12 статьях в сборниках трудов конференций, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science. В ходе выполнения работы получены объекты интеллектуальной собственности: 3 патента РФ на изобретение и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации и опубликованных работ.

Соответствие паспорту специальности.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики согласно следующим пунктам паспорта:

1. Изучение физических явлений и процессов, которые могут быть использованы для создания принципиально новых приборов и методов экспериментальной физики.
2. Разработка новых принципов и методов измерений физических величин, основанных на современных достижениях в различных областях физики и позволяющих существенно увеличить точность, чувствительность и быстродействие измерений. Разработка и создание научной аппаратуры и приборов для экспериментальных исследований в различных областях физики.
5. Разработка и создание экспериментальных установок для проведения экспериментальных исследований в различных областях физики.

В целом диссертационная работа Ли Линь в полной мере соответствует требованиям Положения ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Диссертационная работа соответствует п. 8 «Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете».

С учётом сказанного выше считаю, что диссертация «Аппарат-

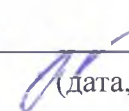
но-программный лазерный комплекс для исследования параметров высокотемпературного горения», выполненная Ли Линь, является законченной научно-исследовательской работой, а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент

доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры управления инновациями

07.11.2019

-



Юдин Николай Александрович

(дата, подпись)

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, тел. 8 (3822) 52-98-52,

E-mail: yudin@tic.tsu.ru

Подпись Юдина Николая Александровича удостоверяю:

Ученый секретарь ТГУ



— Н.А. Сазонтова