

ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА И ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 537.312.52; 544.537; 666.189.242

ФОРМИРОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРОТЯЖЕННОЙ ФОРМЫ В ОБЪЕМЕ ПОРИСТЫХ СТЕКОЛ, ИМПРЕГНИРОВАННЫХ СОЛЯМИ СЕРЕБРА

А.А. Алейник

(Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики)

Научные руководители:

магистрант М.М. Сергеев; ст. преподаватель Г.К. Костюк

(Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики);

М.А. Гирсова (Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН)

В современных исследованиях формирование в объеме оптически прозрачных материалов под действием лазерного излучения модифицированных областей (МО) протяженной формы с измененными физико-химическими характеристиками, в том числе и оптическими, привлекает все большее внимание. Широкое применение подобные МО находят в оптике, оптоэлектронике, интегральной оптике и фотонике. В качестве оптических материалов для создания МО используются стекла различного состава [1, 2], в том числе и пористые стекла (ПС), пропитанные растворами солей серебра. Под действием лазерного излучения соли серебра, расположенные в порах пластин ПС, способны разлагаться до ионов, а также перемещаться по каналам пор и восстанавливаться до металлического серебра. Подобные стекла принято называть фотохромными пористыми стеклами (ФХПС).

Перспектива применения ФХПС при лазерной обработке обусловлена, в первую очередь, относительно низким значением вклада энергии в процессы формирования модифицированных областей (МО), по сравнению с другими альтернативными методами формирования МО в оптически прозрачных материалах.

Целью работы является создание и дальнейшее исследование МО протяженной формы с измененными физико-химическими характеристиками, в объеме пластины ПС, пропитанного растворами солей серебра, под действием лазерного излучения, слабо поглощаемого стеклом, а так же исследование функциональных возможностей созданных МО.

В эксперименте использовались пластины размером 15×15 мм, толщиной 1,5 мм, полученные пропиткой ПС (с пористостью $\delta=0,25$, состоящие на 94% из SiO_2) солями серебра. После всех этапов обработки состав пористых матриц, пропитанных солям серебра, изменялся до следующего состава: $0,25\text{Na}_2\text{O}-3,42\text{B}_2\text{O}_3-96,09\text{SiO}_2-0,24\text{Ag}_2\text{O}$.

В качестве источника непрерывного облучения пластин ФХПС использовался иттербиевый волоконный лазер с длиной волны $\lambda=1,07$ мкм, расходимостью пучка лазерного излучения $\theta=0,26$ мрад и нестабильностью выходной мощности 1%, средняя мощность в пучке от 5 до 15 Вт которого, фокусировалось с помощью микрообъектива ($10\times, 0,25$).

Размер и формы МО определялись мощностью лазерного излучения P_0 , длительностью воздействия t и размером области перетяжки пучка d_f , расположенной в объеме пластины ФХПС на глубине 150–200 мкм.

Формирование МО протяженной формы осуществлялось с помощью фокусировки лазерного излучения в объем пластины ФХПС, перемещаемой с заданной скоростью. В зависимости от величины мощности лазерного излучения и длительности облучения, размер центральной части МО располагался в пределах 50–300 мкм.

Полученные МО в объеме стекла исследовались с помощью оптического микроскопа Carl Zeiss Axio Imager A1 в проходящем и поляризованном свете с увеличением $100\times$ – $200\times$, а также с помощью микроскопа-спектрофотометра МСФУ-К Ю-30.54.072.

Модифицированная область, образовавшаяся в результате лазерного воздействия в пределах фокусировки лазерного излучения, состояла из центральной области с измененными оптическими характеристиками и слоя, окружающего эту область, который содержит частицы металлического серебра, вытесненные из центральной области.

После лазерного облучения, на заключительном этапе обработки пористых стекол, пропитанных раствором солей серебра, пластины ФХПС вместе с МО спекались в печи до формирования пластин ФХКС. После спекания пластины вместе с МО исследовались вновь. Вид МО в поляризованном свете после спекания приобрел более четкие очертания. Кольцевая структура, охватывающая центральную часть МО и представляющая область с высокой концентрацией частиц серебра большого размера, сохранилась и после спекания.

Литература

1. Андреева О.В., Сидоров А.И., Стаселько Д.И., Хрущева Т.А. Синтез и оптические свойства гибридных «плазмон-экситонных» наноструктур на основе Ag–AgI в нанопористом силикатном стекле // ФТТ. – 2012. – Т. 54. – № 6. – С. 1215–1219.
2. Teng Yu, Zhou Jiajia, Luo Fangfang, Lin Geng, Qiu Jianrong. Controllable space selective precipitation of copper nanoparticles in borosilicate glasses using ultrafast laser irradiation // Journal of Non-Crystalline Solids. – 2011. – V. 357. – P. 2380–2383.

УДК 525-21/28

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЦВЕТОВ ПОБЕЖАЛОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ СТАЛИ И ТИТАНА

А.Д. Кочетов, В.А. Кочетова, Г.В. Одинцова, С.А. Александров
Научный руководитель – д.т.н., профессор В.П. Вейко

Краткое вступление, постановка проблемы. Известно, что при нагревании металла в кислородсодержащей среде его поверхность окисляется. Это приводит к появлению цветов побежалости, что способствует образованию целого спектра цветов на его поверхности. Использование импульсного излучения лазера для обеспечения доставки тепловой энергии на поверхность металла с высокой точностью позволяет получить большой диапазон цветов побежалости и, следовательно, дает возможность создания палитры цветов на металлических поверхностях.

Цель работы. Определить температуры нагрева поверхности стали и титана при образовании различных цветов побежалости под воздействием лазерного излучения и вывести взаимосвязь между температурой поверхности и получаемым цветом для исследуемых металлов.

Применяемые методы

- Оптическая микроскопия (микроскоп Zeiss Axio Imager A1M).
- Тепловизионные измерения (ИК камера FLIR Titanium 520 M).

Основные результаты и выводы. Определены температурные диапазоны, соответствующие появлению основных цветов и выявлена последовательность их

возникновения. Составлены таблицы соответствия температуры поверхности металла и полученного цвета.

Результаты были получены как экспериментальным путем, так и при помощи расчетной теоретической зависимости. Теоретический расчет совпадает с экспериментальными данными, что свидетельствует о корректности использованной расчетной модели.

УДК 681.786, 681.3

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ПЗС-ФОТОПРИЕМНИКЕ

А.Л. Итин, И.Н. Гладков

Научный руководитель – ассистент А.Л. Итин

Современные оптические системы решают задачу определения координат объекта с высокой степенью точности. Однако при проектировке такой системы необходимо учесть: требуемую точность прибора, максимально возможное время, за которое необходимо выполнить операцию определения характеристик объекта, оптический диапазон, в котором будет излучать искомый объект, и главное точно определить основную задачу прибора. В зависимости от конкретных требований, предъявляемых к прибору, проектируется оптимальная оптическая система и для нее разрабатывается специальный алгоритм. Существующие методы разработаны в основном для объектов, излучающих в видимом диапазоне. Однако их использование становится неприемлемым в случае, если излучение объекта находится в инфракрасной области спектра, так как в данном диапазоне излучения велико значение белого шума. В данной работе были рассмотрены различные способы создания алгоритма для системы, которая определяет положение объекта, излучающего в инфракрасном диапазоне и находящегося в плоскости перпендикулярной оптической оси данной системы.

За основу определения координат объекта на многоэлементном фотоприемнике был взят способ определения энергетического центра изображения объекта. Нахождение координат в пространстве номеров элементов фотоприемника производилось путем расчета среднеквадратического значения для каждой из координатных осей.

Далее были рассмотрены методы выделения изображения из фона и уточнения координат энергетического центра при помощи элементов математической статистики (нормального распределения) и при помощи весовой функции объектива, представленной гауссоидой вращения.

В алгоритме выделения изображения из фона, основанном на нормальном распределении, были использованы основные параметры данного статистического распределения – математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение. Начальное значение этих параметров должно быть определено до момента появления объекта в кадре. Такое «обучение» модели увеличит точность определения координаты.

В соответствии с правилом «трех сигм», известном в математической статистике, каждый пиксель определяется либо в категорию переднеплановых пикселей, либо заднеплановых. Таким образом, происходит «вырезание» изображения из общего шумового фона, и пиксели, фиксирующие шумы, не вносят вклад в расчет энергетического центра.

В случае выделения изображения из фона с использованием весовой функции объектива происходит первичное определение координат энергетического центра через среднеквадратическое значение, затем происходит уточнение координат путем домножения каждого элемента матрицы на весовой коэффициент. После этого находятся уточненные координаты энергетического центра изображения.

Для проверки каждого метода была синтезирована тестовая числовая матрица с белым шумом, состоящая из энергетического пятна и заполненных случайными значениями пикселей, имитирующих шум, и аналогичная ей матрица, но в отсутствие флуктуационного шума.

После проверки методов были получены следующие результаты, представленные в таблице, в которой x_{pzs} , y_{pzs} – координаты энергетического центра на матрице.

Таблица. Результаты вычислений для каждого метода (в пространстве номеров элементов ФПУ)

№ способа	Матрица без шумов		Матрица с шумами	
	x_{pzs}	y_{pzs}	x_{pzs}	y_{pzs}
1	50,1858	25,1770	160,2994	128,4542
2	50,1858	25,1770	50,0612	25,2143
3	50,1650	25,1693	160,2977	128,4099

В соответствии с полученными результатами можно сделать вывод о том, что все три алгоритма работают достаточно точно в случае отсутствия шумов на матрице. Однако при появлении шумов первый и третий методы становятся неприемлемыми, так как смещают координаты энергетического центра изображения к центру матрицы.

Таким образом, самым оптимальным методом был выбран метод, основанный на нормальном распределении, так как он является наиболее адекватным в случае работы в инфракрасном оптическом диапазоне, где присутствуют значительные шумы. Данный алгоритм можно использовать для работы в динамических системах, которые позволят определять и записывать траекторию движения объекта. Также используя систему с двумя видеоустройствами можно добиться определения трехмерной координаты объекта, его траектории и границ, что может быть эффективно в сфере систем безопасности.

Литература

1. Коротчаев В.В., Краснящих А.В. Телевизионные измерительные системы. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 108 с.
2. Кочин А.В., Трещалин А.П. Определение координат быстро движущегося объекта с использованием низкоскоростных видеокамер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.jurnal.org/articles/2008/inf42.html>, своб.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Изд. 4-е, доп. Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1972. – 368 с.
4. Андреев А.Л. Моделирование и расчет автоматизированных видеоинформационных систем наблюдения за объектами. Методические указания к лабораторным работам. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 77 с.

УДК 681 78

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ТОЧНОСТНЫХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХИМИЧЕСКОГО СЕНСОРА НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

А.Л. Итин

Научный руководитель – д.т.н., профессор Ю.Л. Колесников

В данной работе рассмотрен химический сенсор, основанный на интегрально-оптическом чувствительном элементе, и оценены его потенциальные возможности для обнаружения изменения концентрации вещества введенного заранее в полиимер. Были проведены расчеты и даны оценки пороговой чувствительности сенсора. В предыдущей

работе были проведены различные эксперименты, позволившие предложить структурные схемы химического сенсора и провести исследования на имитационной модели. В качестве чувствительного слоя использовались пленки акрилового гидрогеля.

Для оценки характеристик сенсора была создана цифровая модель в среде MATLAB. При этом использовались экспериментальные данные, полученные при изучении свойств полимера:

- показатель преломления волноводного слоя $n_2=1,7836$ (ТБФ4);
- показатель преломления подложки $n_1=1,5183$ (К8);
- показатель преломления $n_3=1,375$ (гидрогель чистый);
- толщина волноводного слоя $d_2=10$ мкм;
- длина волны излучения $\lambda=0,765$ мкм.

Цифровая модель интегрально-оптического сенсора позволяет оценить все наиболее важные характеристики системы. Для создания имитационной модели использовались численные методы нахождения зависимости эффективного показателя преломления волновода γ_m от показателя преломления полимера. Была создана матрица значений эффективного показателя преломления волновода γ_m , и согласно выражению (1) были получены соответствующие значения показателя преломления полимера n_3 .

$$k_0(n_2^2 - \gamma_m^2)^{1/2}d_2 = \arctg \left[E_{21} \left(\frac{\gamma_m^2 - n_1^2}{n_2^2 - \gamma_m^2} \right) \right]^{1/2} + \arctg \left[E_{23} \left(\frac{\gamma_m^2 - n_3^2}{n_2^2 - \gamma_m^2} \right) \right]^{1/2} + m \quad (1)$$

где m – номер моды, $k_0=2\pi/\lambda$; λ – длина волны излучения в вакууме

$$E = \begin{cases} 1 - \text{для ТЕ мод} \\ \left(\frac{n_i}{n_j} \right)^2 - \text{для ТМ мод} \end{cases} \quad (2)$$

Обнаруживаемая зависимость скорости изменения эффективного показателя преломления γ_m относительно изменения показателя преломления полимера выявляет тот факт, что скорость изменения эффективного показателя преломления γ_m имеет линейный характер, таким образом можно сказать, что изменения эффективного показателя преломления от показателя преломления полимера должен носить параболическую форму.

В предлагаемой реализации детектирование излучения происходит с помощью схемы интерферометра типа Маха-Цендера. Этот аналог интерферометра Маха-Цендера с плечами, образованными волноводами, различающимися нахождением в зоне, подверженной отдаче загрязнителя из полимера и зоны сравнения.

В данном случае разность оптического пути определяется как $\Delta=r_0(\gamma_{отд}-\gamma_{сравн})$ и таким образом

$$\frac{P_{вых}}{P_{вх}} = 0,5 \left(1 + \cos (k_0 \cdot r_0 \cdot (\gamma_{отд} - \gamma_{сравн})) \right). \quad (3)$$

Для цифровой модели использовались следующие значения характеристик интегрально-оптического сенсора:

- плечо большего интерферометра $r_0=12$ мм;
- плечо меньшего интерферометра $r_0=5$ мм;
- значение эффективного показателя преломления чистого полимера $\gamma_{сравн}=1,5870$.

Для исследования характеристик в имитации сенсора на основе интерферометра использовались полученные значения эффективного показателя преломления, которые с помощью выражения (3) дают зависимость выходной мощности излучения интерферометра к входной от показателя преломления полимера, а также с помощью аппроксимации зависимости показателя преломления полимера от концентрации содержащегося в нем медицинского вещества (диоксида), получена зависимость изменения отношения мощностей излучения на входе и выходе интерферометра от величины концентрации.

Присутствие двух интерферометров в сенсоре позволяет однозначно определить показатель преломления полимера, а также позволит определить концентрацию вещества, выводимого из этого гидрогеля.

В электронную систему обработки данных сенсора, поступает два значения с интерферометров, которые сопоставляются с данными полученными на имитационной модели, после чего выводятся результирующее значение показателя преломления и концентрации вещества.

Необходимо отметить, что концентрация медицинского препарата диоксидин в полимере определяется заранее, в зависимости от глубины поражения кожного покрова человека, время необходимое для отдачи определенного количества диоксида также ограничивается возможностью всасывания этого объема кожей структурой. Согласно графикам, отражающим характер абсорбции из предыдущих исследований, можно сделать вывод, что за 2 минуты полимер способен отдать до 30% содержащегося в нем вещества.

Построенная имитационная модель позволила оценить возможности реализации такого сенсора, а также дала объективные данные о том, как будет вести себя такой сенсор в системах, предназначенных в медицинских целях. Использование такой системы позволит довольно точно определять изменение концентрации вещества в полимере.

УДК 535-21/-28

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЦВЕТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ ПОВЕРХНОСТИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ И ТИТАНА

**Г.В. Одинцова, Ю.Ю. Карлагина, А.Л. Скуратова, А.В. Логинов
Научный руководитель – д.т.н., профессор В.П. Вейко**

Краткое вступление, постановка проблемы. Как известно, при воздействии лазерного излучения на поверхности металла на воздухе образуется оксидный слой. Поверхность металла окрашивается в различные цвета за счет явления интерференции в тонких пленках. Пленки одинаковой толщины могут быть получены при различных комбинациях параметров лазерного воздействия. Поэтому, в рамках разработки технологии цветной лазерной маркировки (ЦЛМ), следует однозначно определить подходящую комбинацию таким образом, чтобы для конкретного материала можно было получить нужный цвет в локально заданной области.

Технология ЦЛМ может найти свое применение в сфере рекламы (нанесение цветных логотипов), в промышленности (как защита от фальсификации продукции). Благодаря вышеупомянутой технологии возможно нанесение уникальных идентификационных марок непосредственно на поверхность детали, что дает возможность создания третьей информационной оси в двумерном классическом штрих коде. Также хорошо известно, что оксидная пленка обладает защитным эффектом, который может быть многократно увеличен, если сформировать на поверхности металла искусственный оксидный слой.

Цель работы. Определение управляющих параметров, однозначно определяющих, получаемый цвет поверхности в локально-заданной области, для разработки технологии ЦЛМ. Создание программного обеспечения (ПО) для технологии ЦЛМ на базе лазерной установки «Минимаркер 2».

Применяемые методы

- Оптическая микроскопия (микроскоп Zeiss Axio Imager A1M).
- Спектрофотометрия (Спектрофотометр Ocean Optics CHEM4-VIS-NIR USB4000).

Основные результаты и выводы. В результате работы были определены основные параметры, влияющие на цвет: температура и время воздействия. Подобраны такие параметры обработки, которые обеспечивают визуально равномерное окрашивание

материала. По полученным данным создана таблица цветов для нержавеющей стали и титана при различных режимах обработки, выявлена последовательность возникновения цветов.

Измерены спектры отражения основных цветов и для них приведены калориметрические характеристики обработанной поверхности при основных источниках освещения.

В ходе исследований разработано ПО для технологии ЦЛМ на базе лазерной установки «Минимаркер 2».

УДК 621.77

УПРУГИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ЛАЗЕРНОМ НАГРЕВЕ

А.Д. Кочетов, В.А. Кочетова

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.П. Вейко

Работа посвящена наблюдению и изучению обратимых деформаций, возникающих в результате нагрева металлической пластины импульсным излучением лазера. Актуальность работы обусловлена активным развитием микросистемной техники и ее применений. Изучаемое явление может быть использовано для реализации микромеханических приводов с дистанционным управлением.

Целью работы является создание актуатора, приводимого в действие лазерным излучением и исследование его параметров: повторяемости результатов, развиваемого усилия, срока службы и др.

Для создания деформаций использован импульсный волоконный лазер с выходной мощностью 5–9 Вт, длительностью импульса 100 нс, частотой следования импульсов 20–100 кГц. В качестве исследуемого образца использовались тонкие пластины различных марок стали

Пластина закреплялась консольно, таким образом чтобы пятно на образце было около 2 мм. С помощью роботизированного комплекса пятно перемещалось по образцу с различной скоростью сканирования. Со стороны, противоположенной облучению, подавалась вода или сжатый воздух для увеличения градиента температурного распределения в пластине

Процесс изгиба изучен с помощью тепловизионной камеры для определения распределения температуры при лазерном воздействии. На основании измерения величины угла изгиба, скорости его образования и релаксации выбран оптимальный режим.

Рассмотрена возможность снятия возникающих термических напряжений с помощью воздействия широкого пучка непрерывного излучения волоконного иттербиевого лазера.

Так же рассмотрена возможность изгиба деформированной пластины в обратную сторону до возвращения пластины в исходное состояние.

Полученные экспериментальные результаты сравнены с компьютерной моделью полученной с помощью математического пакета Ansys. Рассчитаны возникающие термические напряжения внутри пластины после выпрямления пластины.

Учитывая оптимальный режим облучения, спроектирован актуатор, приводимый в действие лазерным излучением. Исследованы основные характеристики актуатора. Рассмотрена возможность использования данной системы в качестве замыкающего или размыкающего ключа в электрической цепи.

ТЕРМОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОУПРОЧНЕНИЯ

В.А. Кочетова, А.Д. Кочетов

Научный руководитель – д.т.н., профессор Е.Б. Яковлев

Целью работы является изучение и оптимизация процесса термоупрочнения стали 38Х2МЮА под действием непрерывного излучения волоконного лазера мощностью до 2 кВт. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- измерение температурного поля в процессе лазерной обработки с помощью термографической камеры;
- анализ полученных результатов;
- измерение твердости обработанных образцов;
- выбор оптимального режима обработки.

Использованное оборудование:

- роботизированный лазерный комплекс на основе волоконного лазера ($\lambda=1070$ нм) мощностью до 5 кВт;
- механический вращатель;
- ИК-камера FLIR Titanium 520 м.

Параметры материала. 38Х2МЮА – Сталь жаропрочная релаксационноустойчивая.

Таблица. Теплофизические свойства

Температура испытания, °С	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Коэффициент теплопроводности Вт/(м·°С)	33	33	32	31	20	20	28	27	27	X
Удельная теплоемкость (С, Дж/(кг·°С))	496	517	533	546	575	609	638	676	X	X

Ход эксперимента. На механический вращатель в специальную подложку помещается образец стали 38Х2МЮА. С помощью реостата задается скорость вращения от 0,5 до 4 м/мин. Величина расфокусировки меняется при различных режимах от 170 до 215 мм. Мощность лазерного излучения задается равной 2 кВт и остается постоянной на всех этапах.

Лазерное излучение падает нормально на поверхность подложки. Вращатель подводит образец к излучению, таким образом, что на всей поверхности образца отсутствуют зоны разгона и торможения.

На специальной стойке крепится инфракрасная камера FLIR Titanium 520 м, таким образом, что зона обработки находится на расстоянии 250 мм от объектива тепловизора. Данные тепловизионной съемки обрабатываются программой Altair, по ним строится распределение температуры на поверхности образца, графики зависимости температуры от координаты в поперечном сечении пятна обработки. Результаты заносятся в таблицы и анализируются.

Образцы исследуются твердомером для определения степени закалки.

Основные полученные результаты

- Исследовано 10 различных режимов обработки.
- Построены распределения температуры поверхности детали.

- Измерена твердость полученных образцов.
- Выбраны подходящие режимы лазерного термоупрочнения стали 38Х2МЮА.

УДК 535-21/-28

ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ И ТИТАНА

Г.В. Одинцова, А.В. Логинов, А.А. Линченко

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.П. Вейко

Краткое вступление, постановка проблемы. Изменение оптических свойств поверхности за счет технологии лазерного облучения является актуальной проблемой в наше время.

Известно, что при лазерном облучении металлов на их поверхности образуются тонкие оксидные пленки, которые благодаря явлению интерференции дают усиление длин волн видимого диапазона, что визуально дает эффект окрашивания. Это является главной причиной изменения оптических свойств поверхности в случае гладких поверхностей. Однако, при сканировании лазерным пучком при температурах больше порога испарения материала, на краях зоны образуется валик и другие следы застывшего расплава, что приводит к появлению канавки гравировки, которая может образовывать дифракционную решетку. Микро- и наноструктуры модифицированной поверхности, индуцируемые импульсным лазером, могут значительно увеличить оптический коэффициент поглощения или отражения различных металлических поверхностей, что позволит контролировать оптические свойства металлов от инфракрасного до терагерцового диапазона. Это может найти широкое применение, например, при изготовлении фотоэлектрических, оптических элементов, в области солнечной энергетики.

Таким образом, с помощью направленного лазерного излучения, предоставляется возможность задавать необходимые оптические свойства поверхности металла.

Цель работы. Исследовать механизм изменения оптических свойств поверхности материала, определить состав оксидных пленок, полученных в процессе взаимодействия титана и компонентов стали с атмосферными газами при лазерном нагревании, провести анализ и оптимизацию параметров режимов лазерной обработки металла для модификации его оптических свойств.

Применяемые методы

- Оптическая микроскопия (микроскоп Zeiss Axio Imager A1M).
- Спектрофотометрия (спектрофотометр Ocean OpticsCHEM4-VIS-NIR USB4000).
- Профилометрия (профилометр Hommel Tester 8000).

Основные результаты и выводы

1. Определены основные механизмы изменения оптических свойств поверхности металлов:
 - окисление поверхности с образованием прозрачных интерференционных пленочных покрытий;
 - структурирование поверхности металлов, приводящее к образованию дифракционных решеток.
2. Определен состав полученных оксидных пленок с помощью термодинамического расчета процесса взаимодействия титана и компонентов стали с атмосферными газами при лазерном нагревании.

3. Подобраны режимы лазерной обработки поверхности титана и стали, при которых изменяется коэффициент отражения поверхности от 0,1 до 0,6 в видимой части оптического диапазона.
4. Проведена оптимизация параметров режимов лазерной обработки для получения структур с минимальными периодами за счет уменьшения радиуса пучка в фокусе.

УДК 621.373.8

СИСТЕМА НАКАЧКИ Nd:YLF ЛАЗЕРА С ЖИДКОСТНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Д.И. Лычагин, В.М. Поляков

(Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова)

Научный руководитель – аспирант В.М. Поляков

(Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова)

В настоящее время актуальна проблема поиска утечек газа с летательного аппарата, поскольку использование ручных газоанализаторов для выявления протечек в магистральных трубопроводах затруднительно. Для решения данной задачи необходим лазер с определенными параметрами излучения. Коллектив ОАО «ГОИ им. С.И. Вавилова» разработал лидар воздушного базирования, позволяющий дистанционно определять наличие углеводородов в воздухе. Основным элементом данной системы является лазерный излучатель на Nd:YLF с преобразованием в четвертую гармонику, 262 нм.

Наш коллектив занимается усовершенствование импульсного лазерного излучателя с целью увеличения выходной мощности. Для снижения тепловой нагрузки используется увеличенный в длину активный элемент, который разделен на две равные части в связи с трудностями роста кристалла более 80 мм. В качестве активных элементов используются кристаллы Nd:YLF с концентрацией 1% и размерами Ø5 мм×80 мм. Активный элемент расположен в трубке-осветителе и закреплен упруго с торцов. Теплоотвод осуществляется жидким теплоносителем. Накачка осуществляется с помощью линеек лазерных диодов, расположенных двумя группами с разных сторон осветителя суммарной мощностью 1500 Вт. Оптические оси групп линеек смещены на 40°, а на осветителе напротив лазерных диодов нанесено зеркальное покрытие. Между двумя активными элементами установлена призма Дове, переворачивающая изображение одного активного элемента относительно другого. В совокупности с расположением линеек это приводит к равномерному распределению поглощенной энергии по сечению активного элемента. Охлаждение лазерных диодов жидкостное. Система охлаждения двухконтурная, при температуре теплоносителя ниже рабочей циркуляция через радиатор отсутствует. Радиатор охлаждения теплоносителя расположен на боковой поверхности корпуса и активно охлаждается с помощью вентилятора.

В ходе работы разработан квантрон под следующие параметры излучения: 1500 Вт накачки на длине волны 808 нм длительностью 500 мкс и частотой повторения 200 Гц. В дальнейшем планируется испытание устройства для подтверждения его характеристик.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ МИКРОФАСЕТОК ДЛЯ пДФОС

Н.В. Матвеев, И.В. Попов

Научный руководитель – к.т.н., доцент С.А. Алексеев

Поляриметрическая двулучевая функция отражательной способности (пДФОС) позволяет генерировать синтетические изображения, содержащие информацию о состоянии поляризации. Полученные сгенерированные изображения могут быть использованы при проектировании оптико-электронных приборов на этапе моделирования и компьютерного расчета системы.

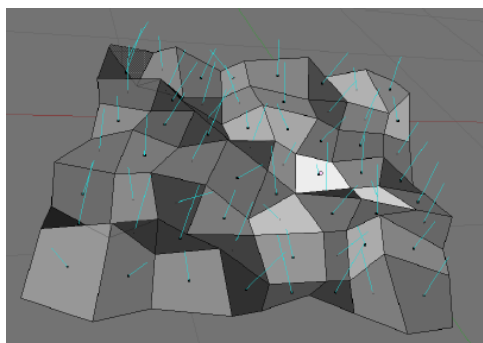


Рис. 1. Поверхность как набор микрофасеток

Модели пДФОС для пассивных поляриметрических систем достаточно хорошо изучены. Данная работа посвящена изучению границ применимости пДФОС для активных поляриметрических систем. В связи с большим количеством параметров, учитываемых в пДФОС, на первом этапе исследований рассматривались: физический параметр объекта – шероховатость, и геометрия взаимодействия. Функция плотности ячеек $P(\theta N)$ связывает распределение отраженного излучения со статистическими параметрами шероховатости поверхности.

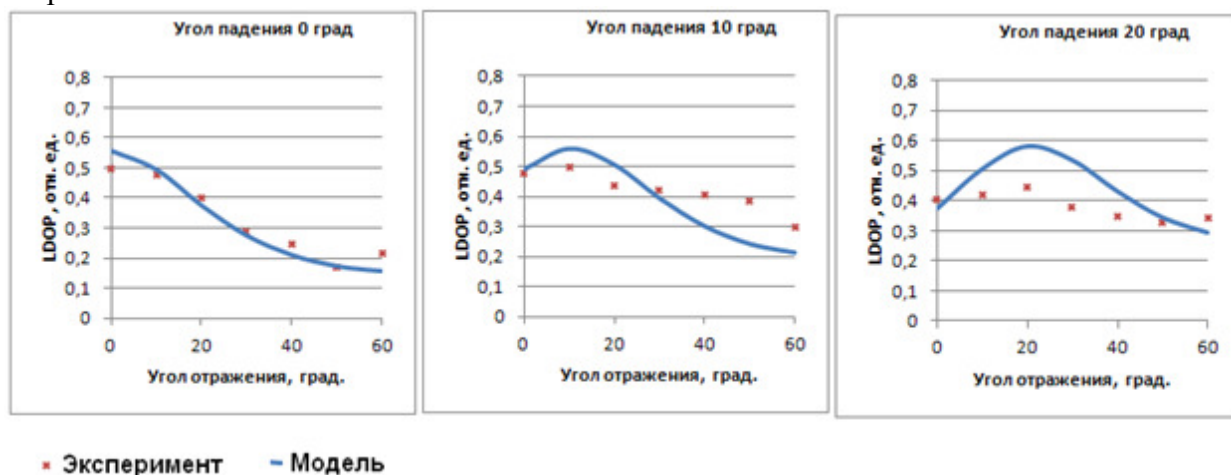


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и модельных угловых зависимостей LDOP для образца №1

Проведено моделирование поляриметрической двулучевой функции отражательной способности для активных поляриметров, определены границы ее применимости на основе сравнения модельных и экспериментальных данных.

Литература

1. Priest R.G. and Meier S.R. Polarimetric microfacet scattering theory with applications to absorptive and rejective surfaces // Opt. Eng. – 2002. – V. 41(5). – P. 988–993.
2. Shell J.R. Polarimetric remote sensing in the visible to near infrared. Ph.D. dissertation, Rochester Institute of Technology, Rochester, NY. – 2005.

УДК 535.374:621.375.8

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЧАСТОТНОЙ ГЕНЕРАЦИИ Er:YLF-, Er:YAG- И Er:YSGG-ЛАЗЕРОВ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Д.Ю. Сачков

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.Ю. Храмов

Задачи по созданию и совершенствованию источников мощного лазерного излучения диапазона 3 мкм по-прежнему не теряет актуальность. Это связано с наличием в данной области спектра одного из основных максимумов поглощения биологических тканей, что определяет высокую востребованность подобных источников излучения в медицине. Одними из лучших эксплуатационных характеристик среди лазеров трехмикронного диапазона обладают лазеры на кристаллах, активированных ионами эрбия Er^{3+} . При этом лазеры данного типа обладают значительным потенциалом развития, связанным с переходом к использованию диодной накачки. Помимо увеличения эффективности генерации, срока службы излучателя применение диодной накачки позволяет реализовать быструю перестройку спектра генерации эрбиевого лазера [1]. В рамках работы теоретически исследованы процессы генерации Er:YLF-, Er:YAG- и Er:YSGG-лазеров с диодной накачкой на верхний уровень лазерного перехода ${}^4I_{11/2}$ – ${}^4I_{13/2}$.

В работе показано, что процессы генерации на переходе ${}^4I_{11/2}$ – ${}^4I_{13/2}$ в эрбиевых кристаллах могут быть описаны достаточно простой системой балансных уравнений, учитывающей только изменения населенностей энергетических уровней лазерного перехода: ${}^4I_{11/2}$ и ${}^4I_{13/2}$.

В работе показано, что во всех трех рассматриваемых активных средах в течение импульса накачки происходит скачкообразное смещение длины волны генерации в длинноволновую область спектра. При этом в кристалле Er:YLF вероятна генерация на 5-ти длинах волн (2,66; 2,71; 2,81; 2,84; 2,85 мкм) в течение одного импульса накачки, а в кристаллах Er:YAG и Er:YSGG – на двух. Наименее ярко выражен эффект изменения длины волны в кристалле Er:YSGG. Для данной активной среды характерна генерация на длине волны $\lambda=2,8$ мкм. Более длинноволновые компоненты ($\lambda=2,83$ мкм.) появляются лишь при длинных импульсах накачки (длительностью более 1000 мкс) либо при существенной скорости возбуждения (плотность поглощенной мощности накачки выше 5 кВт/см³). Также показано, что энергия генерации в Er:YAG-лазере при одинаковых условиях возбуждения существенно меньше, чем в Er:YLF- и Er:YSGG-лазерах, что связано с существенно меньшим временем жизни верхнего лазерного уровня ${}^4I_{11/2}$ в данной среде. Наибольшими абсолютным и дифференциальным КПД обладает среда Er:YSGG-лазера, что, по-видимому, связано с большим значением сечения вынужденного излучения для данного кристалла.

Согласно расчетам во всех трех рассматриваемых активных средах возможно изменение спектрального состава излучения генерации при импульсно-периодической накачке. Однако в силу большего времени жизни нижнего лазерного уровня в кристаллах Er:YLF и Er:YAG по сравнению с кристаллом Er:YSGG процесс изменения спектра генерации в первых двух средах проявляется ярче. В кристаллах Er:YLF и Er:YAG спектр начинает изменяться уже при частотах следования импульсов генерации 30–50 Гц, в то время как для среды Er:YSGG «пороговая» частота следования импульсов составляет более 100 Гц.

При этом относительно небольшие вариации потерь излучения в резонаторе (порядка $0,005 \text{ см}^{-1}$, например, за счет изменения коэффициента отражения зеркал резонатора на 1–3%) в области длин волн лазерного перехода способны значительно изменять спектральные параметры генерации. Например, для Er:YLF-лазера спектр генерации по-прежнему состоит из 5-ти компонент, однако при этом зависимость задержек начала генерации на различных длинах волн от частоты следования импульсов накачки существенно изменяется. Условия, при которых в спектре генерации возникают либо исчезают некоторые длины волн также существенно изменяются. Так, зависимость задержек начала генерации от частоты следования импульсов для неселективных потерь при $R=10^{22} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ и длительности импульса накачки 0,5 мс характеризуется прекращением генерации на длине волны 2,66 мкм при частоте следования импульсов накачки 50 Гц в то время как для потерь, линейно изменяющихся по спектру от 0,013 для длины волны 2,66 мкм до 0,008 для длины волны 2,84 мкм зависимость характеризуется прекращением генерации на длине волны 2,66 мкм при частоте следования импульсов накачки 40 Гц (для тех же параметров накачки). Аналогичный эффект имеет место и для Er:YAG- и Er:YSGG-лазеров.

Литература

1. Иночкин М.В., Назаров В.В., Сачков Д.Ю., Хлопонин Л.В., Храмов В.Ю. Динамика спектра излучения Er:YLF-лазера в импульсно-периодическом режиме работы // Оптический журнал. – 2010. – Т. 77. – № 7. – С. 8–13.

УДК 621.373.826

РЕКОМБИНАЦИЯ АТОМОВ ЙОДА НА ПОВЕРХНОСТИ

А.П. Горбин

(Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН; Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

Научный руководитель – д.ф.м.н., в.н.с. В.Н. Азязов

(Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН)

Генерация атомов йода вне активной среды химического кислородно-йодного лазера (ХКЙЛ) позволяет увеличить его энергетическую эффективность и расширить диапазон рабочих параметров. Однако важной проблемой является то, что значительная часть наработанного атомарного йода может прорекомбинировать или образовать химическую связь с побочными продуктами разряда и материалом стенки во время транспортировки от генератора до места инъекции. Поэтому для обеспечения эффективной работы химического кислородно-йодного лазера необходимо исследовать процесс рекомбинации атомарного йода на стенке транспортировочного тракта, разрядного генератора и смесительного блока. В представленной работе была впервые проведена оценка верхней границы вероятности рекомбинации атомов йода на поверхностях из различных материалов. Для этого в проведенном на базе СФ ФИАН эксперименте на выходе ВЧ разряда (100 Вт, 40 МГц) с планарными охлаждаемыми водой алюминиевыми электродами в тракте транспортировки помещались трубки меньшего диаметра из различных материалов. Молекулы йода в потоке газа-носителя Ar или He проходили через разряд и разбивались в нем на атомы. После прохождения потока через тракт транспортировки производилось измерение концентрации I_2 методом ЛИФ. На основании предыдущих исследований из работы [1] и полученных экспериментальных данных была впервые проведена оценка верхней границы вероятности рекомбинации атомов йода на стенке для исследуемых материалов (никеля, нержавеющей стали, плексигласа и тефлона) и она составила $\gamma_{rec} \leq 10^{-5}$. Данные результаты показывают, что

исследуемые материалы могут быть использованы при создании узлов ХКЙЛ.

Литература

1. Azyazov V.N., Mikheyev P.A., Ufimtsev N.I., Antonov I.O., Heaven M.C. Formation of $I_2(^3\Pi_0)$ in the presence of $O_2(a^1\Delta)$ // J. Appl. Phys. – 2007. – V. 102(12). – P.123108/7.

УДК 535.31

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВНУТРИРЕЗОНАТОРНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ

А.С. Федосенко, М.А. Муратов

Научный руководитель – к.т.н., доцент С.А. Алексеев

Краткое вступление, постановка проблемы. Критерием качества оптических внутрирезонаторных элементов, используемых для получения одночастотного режима генерации излучения ионных лазеров в видимой и УФ областях спектра, является величина потерь излучения на этих элементах. Традиционные методы технологического контроля качества технологической обработки поверхности детали, в том числе и интерферометрические, не позволяют непосредственно судить о потерях лазерного излучения, вносимых элементом в оптический резонатор лазера.

Цель работы. В последнее время появились методы измерения, основанные на сравнении «френелевских» потерь, вносимой в оптический резонатор поворотной плоскопараллельной пластинкой, с потерями излучения на контролируемой детали. Таким образом, в настоящей работе представлен анализ методов измерения внутрирезонаторных потерь излучения на элементах лазерной техники по различным методикам.

Базовые положения исследования. Рассмотрены особенности измерения потерь излучения на внутрирезонаторных элементах ионных лазеров по двум методам:

- метод калиброванных потерь оптического излучения;
- метод с регулируемой отражательной способностью зеркал трехзеркального оптического резонатора.

Показано, что влияние на потери излучения оказывает физико-химическое состояние поверхностного слоя.

Основной результат. В ходе проведенных экспериментально–теоретических исследований внутрирезонаторных потерь излучения на элементах лазерной техники показано, что применение трехзеркального резонатора в лазерной установке позволяет расширить область измеряемых потерь излучения на оптических элементах относительно случая применения двухзеркального резонатора. Методика измерения внутрирезонаторных потерь на оптических элементах по срыву генерации индуцированного излучения имеет существенные преимущества по сравнению с методикой, в которой измерение потерь излучения проводится с начальным отсчетом от величины максимальной мощности излучения.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯЦИИ ДОБРОТНОСТИ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА ПРИ НАЛИЧИИ ШУМОВЫХ ПОТЕРЬ

К.О. Поносова

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.Ю. Храмов

В настоящее время в инновационных лазерных биомедицинских и технологических задачах используется лазерное излучение 3 мкм диапазона, которое близко к полосам поглощения связанной воды в различных материалах. Большая величина коэффициента поглощения излучения в веществе позволяет реализовать ряд прецизионных лазерных технологических процессов обработки материалов. Наиболее часто в данном спектральном диапазоне применяются твердотельные лазеры, активная среда которых активирована ионами эрбия.

В настоящее время оптическая накачка эрбиевых сред реализуется при помощи полупроводниковых лазерных диодов. В режиме свободной генерации мощность излучения генерации существенно ниже суммарной мощности излучения накачки, что приемлемо не для всех технологических операций. Одним из способов повышения пиковой мощности излучения является применение методов квазирезонансной модуляции добротности потерь резонатора лазера. В отличие от стандартных режимов Q-модуляции, глубина модуляции в режиме квазирезонансной модуляции выбирается сравнительно небольшой. При этом пиковая мощность импульсов генерации излучения как правило имеет большую нестабильность. Однако для определенных частот модуляции режим генерации импульсов представляет собой последовательность пиков с практически одинаковой пиковой мощностью, что представляет большой практический интерес.

Целью работы является разработка теоретической модели для исследования характеристик динамики генерации твердотельных лазеров с диодной накачкой в режиме квазирезонансной модуляции добротности резонатора при наличии воздействия «шумовых» потерь резонатора.

При выполнении теоретических исследований применялась модель активной среды, в которой учитываются переходы между шестью нижними уровнями ионов эрбия. Так как при накачке лазерными диодами, активная среда Er:YLF имеет преимущества по сравнению со средой на основе Er:YAG, исследование ограничено рассмотрением только первой среды.

Выявлены следующие особенности поведения модели лазерной системы при применении модуляции шумовых потерь.

Наблюдается сильная реакция системы, описывающей модель лазера, на определенные частоты модуляции даже при малых величинах амплитуды потерь. Величина амплитуды модуляции потерь при проведении настоящих исследований не превышала 0,5% за один проход по резонатору. Частота модуляции F_m менялась в интервале 4–50 кГц. Выбранный диапазон частот модуляции наиболее часто применяется при работе с твердотельными лазерами.

Переходной процесс при выходе генерации на квазистационарный режим занимает небольшой промежуток времени и в конце импульса накачки формируются импульсы излучения мощностью более 1 кВт. Данная временная зависимость мощности генерации практически является идеальной для многих технологических применений.

Были также проведены исследования на устойчивость режима квазирезонансной модуляции по отношению к «шумовым» потерям в резонаторе. «Шумовые» потери в резонаторе представлялись в виде набора гармоник со случайными частотами и максимальной суммарной амплитудой, составляющей 0.5 от амплитуды «полезной» модулирующей частоты. Число гармоник в «шумовых» потерях варьировалось от 10 до 100.

Таким образом, для модели ТОЛ путем численного решения уравнений динамики

можно определить набор частот модуляции потерь, при которых возникает квазипериодический режим колебаний интенсивности излучения с постоянной амплитудой.

УДК 621.373.826

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЩНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО Nd:YAG-ЛАЗЕРА С НЕУСТОЙЧИВЫМ РЕЗОНАТОРОМ И ГРАДИЕНТНЫМ ВЫХОДНЫМ ЗЕРКАЛОМ

К.А. Федин

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.Ю. Храмов

В настоящее время лазерное излучение ближнего ИК диапазона широко применяется в различных областях науки и техники, а также в лазерной медицине и косметологии, в частности, для удаления татуировок и пигментных пятен, омоложения кожи и эпиляции.

Для некоторых процедур требуются специфические параметры лазерного излучения. При использовании моноимпульсов с большой пиковой мощностью возникает проблема доставки лазерного излучения к месту назначения. При применении малогабаритного лазера, который может быть размещен в наконечнике медицинского прибора, отпадает необходимость в громоздких зеркально-линзовых системах доставки излучения.

В данной работе оценивается возможность создания компактного (габаритный размер около 20 см) Nd:YAG-лазера, обладающего следующими характеристиками: энергия генерации 0,5–1 Дж, длительность импульса менее 5 нс, неравномерность профиля излучения 15–20%, возможность преобразования излучения во вторую гармонику.

На первом этапе работы был произведен сравнительный анализ оптических схем лазерных резонаторов. Достаточно простым способом создания равномерного профиля излучения является режим многомодовой генерации в устойчивом резонаторе. Но при большом усилении и малой длительности импульса возникают условия для разрушения оптических элементов. Сравнивая неустойчивые резонаторы, стоит отметить, что в резонаторе положительной ветви отсутствует внутрирезонаторная фокусировка излучения. Для улучшения поперечного распределения интенсивности предлагается использовать градиентное выходное зеркало с переменным коэффициентом отражения.

Предпочтение было отдано лазеру с неустойчивым резонатором положительной ветви и градиентным выходным зеркалом, работающему в режиме задающий генератор-усилитель. Оба активных элемента накачиваются одной импульсной ксеноновой лампой, расположенной между ними; излучение из задающего генератора в усилитель передается с помощью поворотных зеркал.

В ходе компьютерного моделирования мода резонатора считалась радиально симметричной и рассчитывалась с учетом процесса дифракции при помощи быстрого преобразования Фурье с использованием преобразования Ханкеля-Гарднера. Радиусы кривизны зеркал резонатора определялись с учетом тепловой линзы в активном элементе, также проводилась оптимизация параметров профиля отражения градиентного зеркала для получения равномерного распределения излучения на выходе каскада лазерного усилителя. Так, при близком к полному заполнению АЭ, возникают дифракционные эффекты в системе задающий генератор-усилитель, что приводит к дифракционным возмущениям и увеличению неравномерности поперечного распределения излучения, что в свою очередь увеличивает риск повреждения оптических элементов. При слабом заполнении активного элемента улучшается равномерность излучения в ближней зоне, но при этом уменьшается энергии генерации. В данной работе искался компромисс между энергией генерации и равномерностью поперечного распределения излучения на выходе излучателя.

По результатам проведенного моделирования можно сделать вывод, что использование

неустойчивого резонатора с градиентным выходным зеркалом дает возможность создания малогабаритного лазера, удовлетворяющего высоким требованиям к пространственным и энергетическим характеристикам излучения.

УДК 621.373.826

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТОАКУСТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА ПРИ ВЛАЖНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОЧИСТКЕ.

А.А. Самохвалов, И.В. Парфененков, К.А. Савич
Научный руководитель – д.т.н., профессор В.П. Вейко

Введение. Явления, возникающие при воздействии лазерного излучения на границу жидкость–твердое тело до сих пор не изучены в полной мере ни теоретически, ни экспериментально, что обусловлено нелинейностью процессов, протекающих в данных условиях. В последнее время они привлекают особое внимание в связи с тем, что целый ряд лазерных технологических процессов эффективно протекает именно при наличии слоя жидкости на поверхности обрабатываемого материала. Одним из таких процессов является влажная лазерная очистка материалов, где перед воздействием лазерного излучения на их поверхность наносится тонкий слой жидкости.

Целью работы являлось исследование оптоакустического отклика, возникающего при лазерной очистке различных подложек, конкретно – получение акустических спектров и проведение фурье-анализа.

Базовые положения исследования. Для исследования в качестве образцов были взяты два типа поверхностей – высокой чистоты и шероховатые, имеющие микротрещины и каверны. В качестве первых использовались: металлическая пластина, окрашенная эмалью, и пленка хрома на стеклянной подложке, в качестве второго типа поверхностей – корродированная сталь и шлиф полиграфического растриванного вала. Очистка производилась импульсным волоконным лазером, имеющим максимальную энергию в импульсе 1 мДж и частоту следования импульсов 20–100 кГц. Запись акустического сигнала осуществлялась электретным микрофоном в частотном диапазоне 20–20000 Гц на цифровой осциллограф Tektronix TDS 3052C.

Промежуточные результаты. В ходе экспериментов для всех исследуемых образцов был получен акустический отклик при различных плотностях энергии и разном количестве импульсов. Получены Фурье-спектры, исследованы зависимости акустической амплитуды от энергии лазерного импульса и произведена оптическая микроскопия поверхности после влажной лазерной очистки.

Заключение. Практические результаты. В результате работы выявлено влияние шероховатости поверхности на механизм влажной лазерной очистки: для глянцевых (зеркальных) поверхностей амплитуда оптоакустического сигнала монотонно растет при увеличении энергии лазерного импульса, в случае шероховатых поверхностей амплитуда испытывает резкие скачки, обозначающие границы различных механизмов влажной лазерной очистки. Полученные результаты могут быть использованы для создания обратной связи и автоматизации процесса влажной лазерной очистки различных поверхностей.

КОНТРОЛЬ ТЕРМООПТИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ В АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ

Е.Н. Назина, О.Ю. Лашманов

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Нужин

В импульсных твердотельных лазерах достаточно широко используются различные схемы накачки активного элемента с применением импульсных ламп. По сравнению с активно развивающимися в последнее время вариантами накачки с использованием светоизлучающих диодов и диодных линеек ламповая накачка позволяет получить более высокие уровни энергии накачки, не требует температурной стабилизации при изменении температуры окружающей среды. Однако основным недостатком ламповой накачки является низкая эффективность использования оптического излучения лампы. Большая часть энергии излучения лампы рассеивается в виде тепла. Возникающий градиент температуры по сечению активного элемента приводит к изменению его формы и градиенту показателя преломления. При прохождении оптического излучения через такой активный элемент возникают искажения, неблагоприятно влияющие на работоспособность лазера вплоть до срыва генерации излучения. Уровень искажений зависит от энергии накачки, частоты вспышек лампы накачки и конструктивных особенностей лазера.

В работе экспериментально исследованы оптические искажения, возникающие при прохождении излучения через активный элемент из кристалла калий-гадолиниевого вольфрамата в зависимости от частоты импульсов накачки, различных вариантов ориентации активного элемента по отношению к лампе накачки.

Оптические искажения проходящего через активный элемент излучения регистрировались на оригинальной измерительной установке с помощью матричного ПЗС, сопряженного с ПК. Оценка возникающих искажений была сведена к измерениям угловой ориентации параллельного светового пучка, проходящего через активный элемент. Экспериментально установлены абсолютные значения изменений угловой ориентации проходящего пучка, выявлены различия изменений в зависимости от ориентации активного элемента по отношению к лампе накачки.

В итоге результаты работы дают практические рекомендации по минимизации термооптических искажений путем определенной ориентации активного элемента по отношению к лампе накачки и допустимой частоте импульсов излучения.