

УДК 544.032.65

Е.В.Дорофеева², П.Ю Лобанов³, М.Н.Мешков¹, О.Е.Сидорюк³
(¹ Московский физико-технический институт, аспирант,
² ИБХ РАН им. академиков М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова,
³ АО «НИИ «Полнос» им.М.Ф.Стельмаха, г.Москва, РФ)

ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ОПТИЧЕСКОГО СИТАЛЛА

Маркировка деталей в процессе современного производства является важным фактором, обеспечивающим возможность их идентификации в рамках сборочного конвейера. Сопоставление индивидуальных характеристик отдельных образцов с итоговыми результатами технологического процесса является неотъемлемым звеном в системе мер по обеспечению качества выпускаемых изделий.

В связи с этим широкое распространение в настоящее время получило использование лазерной маркировки, которая обеспечивает высокую производительность операции, допускает применимость к широкому классу материалов. При этом наиболее популярны маркеры на базе неодимовых лазеров с длиной волны в области 1 мкм. Вместе с тем, существует круг оксидных материалов с относительно высокой лазерной прочностью в этой области спектра, для которых указанный тип маркеров неприменим. Для них целесообразно использование излучения CO₂ лазера с длиной волны 10,6 мкм, которое хорошо поглощается в поверхностном слое данных образцов.

На Рис.1 представлены типичные результаты воздействия импульсов излучения CO₂ лазера на ряд популярных в квантовой электронике материалов. Во всех случаях длительность импульса составляла 20 мсек, пиковая плотность мощности в пятне 150 мкм была равна 85 кВт/см².

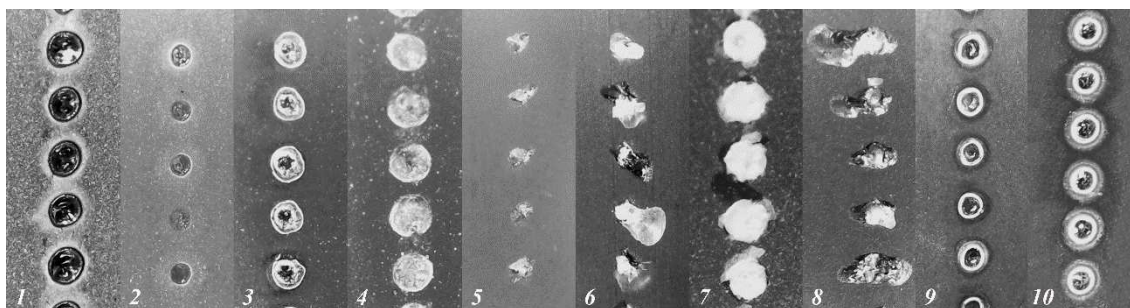


Рисунок 1. Примеры воздействия импульсного излучения CO₂ лазера на поверхность ряда оптических материалов. 1- германат висмута, 2- плавленый кварц, 3- стекло К8, 4- дигидрофосфат калия, 5- алюминат иттрия, 6- алюмоиттриевый гранат, 7- иодат лития, 8- ниобат лития, 9- ситалл CO-115, 10- Zerodur.

Анализ этих данных показывает, что процесс лазерного разрушения оксидных оптических материалов проявляется по-разному. На поверхности ряда монокристаллов (дигидрофосфата калия, алюмината иттрия, алюмоиттриевого граната, иодата и ниобата лития) происходит локальное растрескивание. Наоборот, кратеры с относительно ровными краями наблюдаются у стеклообразных материалов, в том числе на поверхности оптических стеклокерамик. Для них импульсный CO_2 лазер может рассматриваться в качестве эффективного инструмента микрогравировки.

В настоящей работе основное внимание уделено лазерной маркировке деталей из ситалла СО-115, в частности, подложек лазерных зеркал диаметром 30 мм и толщиной 4 мм.

Решение задачи по выбору оптимальных параметров гравировки с максимальной контрастностью изображений производилось на основе математического моделирования процессов лазерного нагрева поверхности:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} - k \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right] = Q \quad , \quad (1)$$

где ρ , C и k - соответственно плотность, теплоемкость и теплопроводность материала (ситалла); T - температура, Q - функция, характеризующая тепловой источник.

В свою очередь для гауссова пучка лазерного излучения, падающего на поверхность в плоскости $z = 0$:

$$Q(r, z) = \frac{(1-R)P(t)}{\pi a^2} \exp\left(-\frac{r^2}{a^2}\right) f(z) \quad , \quad (2)$$

где R – коэффициент отражения лазерного излучения; $P(t)$ – зависящая от времени мощность лазерного излучения; a – радиус гауссова пучка лазерного излучения по уровню $1/e$; $f(z)$ – функция, описывающая распределение поглощения вглубь образца [1].

Расчет температурного поля при интенсивном нагреве усложняется наличием существенных температурных зависимостей ряда параметров материала. Например, для плавленого кварца коэффициент поглощения излучения в области 10 мкм при температуре 1000°C увеличивается в несколько раз [2], и процесс нагрева может приобретать лавинообразный характер.

По этой причине математическое моделирование производилось в диапазоне относительной термостабильности СО-115 (до 500°C). Основное внимание было уделено анализу динамики масштабов нагретой области. На Рис.2 представлены итоги расчета нагрева лазерным пучком диаметром 100 мкм до одинаковой максимальной температуры поверхности при различных длительностях импульса: 1, 10 и 100 мс.

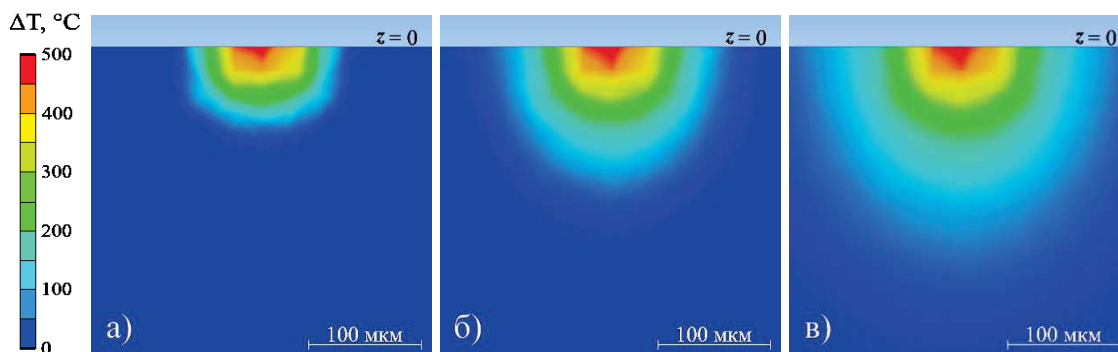


Рисунок 2. Расчетные температурные поля внутри ситаллового образца при лазерном воздействии для длительностей импульса 1, 10 и 100 мс. Достижение одинаковой максимальной температуры поверхности (500 °С) в пучках диаметром 100 мкм при соответствующем подборе плотности мощности лазерного излучения.

В качестве оптимального может быть выбран второй режим, при котором достижима достаточная глубина проплава материала при сохранении относительно небольшого расширения зоны потенциального разрушения. Это может обеспечить требуемые контрастность и разрешение при формировании изображения лазерной гравировкой. В спроектированной установке (Рис.3а) импульсы длительностью 10 мс со скважностью 7 формируются из непрерывного лазерного излучения посредством электромеханического модулятора.

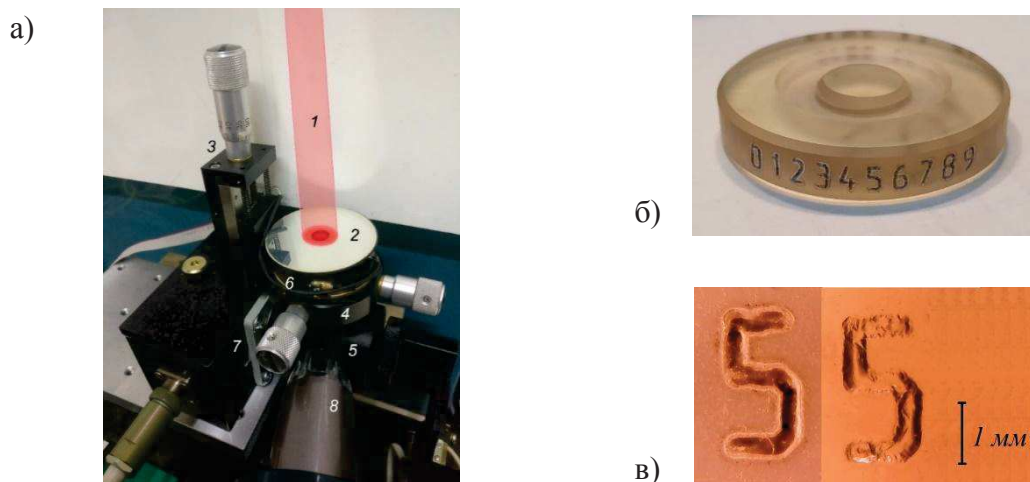


Рисунок 3. а) Общий вид рабочей зоны установки лазерной гравировки боковой поверхности ситалловой подложки (1 – излучение CO_2 лазера; 2 – зеркало с алюминиевым покрытием; 3,4 – юстировочные устройства; 5 – держатель образцов; 6 – электромеханическое устройство двухкоординатного позиционирования расположенной на нем линзы из ZnSe ; 7 – шаговый двигатель для поворота образцов; 8 – цифровой микроскоп); б) пример лазерной гравировки; в) увеличенное изображение символа до и после химического травления.

Излучение (1) CO₂ лазера (Рис.3а) падает вертикально на алюминиевое зеркало (2) с отверстием, под которым находится линза из монокристаллического селенида цинка. Юстировочные устройства (3) и (4) обеспечивают фокусировку излучения на выбранную область боковой поверхности образца, установленного в держателе (5). Сканирование сфокусированного пучка лазерного излучения по поверхности образца производится с помощью электромеханического устройства (6) двухкоординатного позиционирования расположенной на нем линзы. Поворот образца производится шаговым двигателем (7), на оси которого укреплен держатель образцов (5). Контроль процесса настройки и хода операции гравировки производится с помощью цифрового USB микроскопа (8), изображение с которого передается на монитор компьютера.

Дополнительно имеются не показанные на Рис.3 регулятор и измеритель мощности лазерного излучения, драйверы для управления шаговыми двигателями (7) и устройства прецизионного позиционирования (6).

Удаление продуктов лазерной абляции и деструкции материала производилось при последующем травлении в смеси фтористоводородной и серной кислот в присутствии глицерина [3]. В этой технологии активным травящим реагентом является HF, а H₂SO₄ – агентом, превращающим продукты реакции в растворимые соли. Глицерин способствует равномерному распределению реакционно-способных ионов и достижению низкой шероховатости поверхности образца.

На Рис.3 б), в) представлены примеры маркировки оптической детали на ее боковой поверхности с помощью лазерной гравировки, в том числе до и после химического травления.

Внедрение технологии лазерной маркировки в производство приборов квантовой электроники позволило исключить ошибки, обусловленные человеческим фактором, повысило степень автоматизации учета деталей, улучшило внешний вид оптических деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. V.Kozhukharov, D.Dimitrov, D.Tonchev. Interaction of CO₂ laser radiation with glasses. *Infrared Phys.* 1989, Vol. 29, No. 24, pp. 415-422
2. T.Doualle, L.Gallais, P.Cormont, D.Hebert, P.Combis, J.-L.Rullier. Thermo-mechanical simulations of CO₂ laser-fused silica interactions. *Journal of Applied Physics.* 2016, Vol.119, No.11, pp.113106 -10
3. А.А.Дворский, В.П.Маслов, М.М.Скачков. Травильный раствор. А.с.№779323, бюллетень №42, 1980