

УДК 621.9.048.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ DPSS ЛАЗЕРА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 532 НМ НА МАРКИРОВКУ СТЕКЛА

Курилов Максим Владимирович

*Студент 5 курса,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Научный руководитель: Голубенко Ю.В. ⁽¹⁾, Богданова М.А. ⁽²⁾

⁽¹⁾доктор технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»,

⁽²⁾аспирант, инженер кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

В последнее время развитие лазерных технологий стремительно меняет направление и применяемый тип лазеров. Если раньше для неорганических материалов в большинстве случаев использовался газовый лазер, то сейчас все большее применение находят твердотельные. Одним из отличий от первоначально применяемых лазеров с длиной волны в инфракрасном диапазоне является внедрение в резонатор кристалла, преобразующего длину волны излучения. В борьбе за новые технологии и потребителя выставляются новые требования, которые и послужили причиной изменения применяемых типов лазеров. Такие системы позволяют увеличить производительность и качество работы за счет поглощательной способности материалов.

Использование таких лазеров позволило немного расширить круг применения лазеров. Так, например, ранее известная маркировка получила распространение в области применения объемной гравировки не только на поверхности материалов, но и внутри их. Достаточно перспективным направлением является гравировка внутри стекла. Производителям необходимо создавать качественные изделия и доносить информацию до потребителя без искажения, а также современные требования вынуждают оптимизировать процесс производства и подтверждать получаемый уровень качества.

Если же речь идет о промышленной маркировке, то она имеет многоцелевое назначение. Одним из наиболее перспективных направлений применения является маркировка продуктов питания и медикаментов в целях ограничения распространения контрафактной продукции. Для этого закупают современное оборудование, позволяющее создавать специально изображение, разработанное по специальной технологии или, например, цветное. Такая маркировка уже не только несет информационную нагрузку, но и исполняет рекламные задачи или обеспечивает защиту правообладателя.

Промышленная маркировка включает в себя не только знаки качества, но и логотипы, фирменные знаки. Это помогает в формировании имиджа и узнаваемой марки, что сказывается на конкурентоспособности товара. Такая продукция легко узнается, что способствует формированию круга постоянных клиентов и повышению эффективности рекламных акций.

Маркировку можно разбить на две группы – с использованием различных красок и маркировка с изменением свойств поверхности объекта. Одним из способов маркировки является лазерная, наиболее распространенная в некоторых отраслях. Ее применение обусловлено широким спектром применяемых для обработки материалов – от металлов до пластиков, а так же высоким качеством получаемых изображений.

Именно благодаря лазерной технологии стало возможным наносить объемную маркировку внутри прозрачных диэлектриков. Такая технология является уникальной. Помимо стандартной маркировки внутри диэлектриков можно рассматривать и специальную маркировку - создание скрытых изображений, видимость которых осуществляется только с помощью специальных устройств или в специальных условиях. При лазерной маркировке, под воздействием лазерного излучения в стекле происходит разрушение материала в результате оптического пробоя.

С начала исследований проблемы лазерного разрушения до настоящего времени в литературе обсуждалось большое число возможных механизмов и моделей разрушения прозрачных материалов различного класса под действием импульсов лазерного излучения. Можно выделить два вида пробоя приводящего к модификации материала, вызванного локальным поглощением в материале: несобственный пробой и собственный пробой. Первый обусловлен тепловыми эффектами (термоупругие напряжения, тепловая ионизация, фотоионизация излучением нагретых включений, термохимические и механохимические реакции и др.), инициируемыми в оптическом материале поглощающими включениями и дефектами. Второй обусловлен процессами, свойственными самой матрице материала (световое давление, электрострикция, генерация гиперзвука при вынужденном мандельштам-бриллюэновском рассеянии света, ударная и многофотонная ионизация).

В случае идеально чистых материалов механизм разрушения во многом похож на механизм оптического пробоя: лазерное излучение за счет многостадийных взаимосвязанных процессов генерирует свободные носители зарядов, которыми происходит дополнительное поглощение лазерного излучения, при этом в облучаемом объеме выделяется тепло, повышается температура и увеличивается показатель преломления среды. Затем происходит самофокусировка пучка и повышается интенсивность излучения, что приводит к ускорению перечисленных процессов.

Но в реальных прозрачных средах присутствуют локальные макроскопические примеси или дефекты: инофазные включения, скопления примесей, пузырьков газа или микротрещины. Под воздействием лазерного излучения такие области быстро нагреваются, что и служит, в конечном счете, причиной разрушения прозрачной среды. Таким образом, при наличии примесей речь идет о тепловом разрушении прозрачных сред. В результате поглощения энергии лазерного излучения этими локальными областями в них очень быстро (за время импульса) увеличивается температура, соответственно растут термоупругие напряжения и, при достижении критических значений, происходит растрескивание стекла в небольшой области вокруг дефекта (рисунок 1).

Ранее для нанесения лазерной маркировки внутри стекол применялись лазеры с длинами волн в области ИК диапазона, а также лазеры на парах меди. В последнее время эти лазеры постепенно замещаются более новыми линейками излучателей. К недостаткам лазеров на парах металлов можно отнести низкий КПД, а также большой диаметр пучка, что в связке с большой длительностью импульса не позволяло создать изображение с высоким разрешением.

В настоящее время все более популярными становятся лазерные системы с длиной волны 532 нм (2-я гармоника твердотельного лазера), которые позволяют получить более высокое качество изображения. Причиной тому служит высокий коэффициент пропускания оптическим стеклом именно этой длины волны, малая длительность импульса, а также уменьшение диаметра лазерного пучка, что позволяет получать в фокусе гигантские плотности мощности.

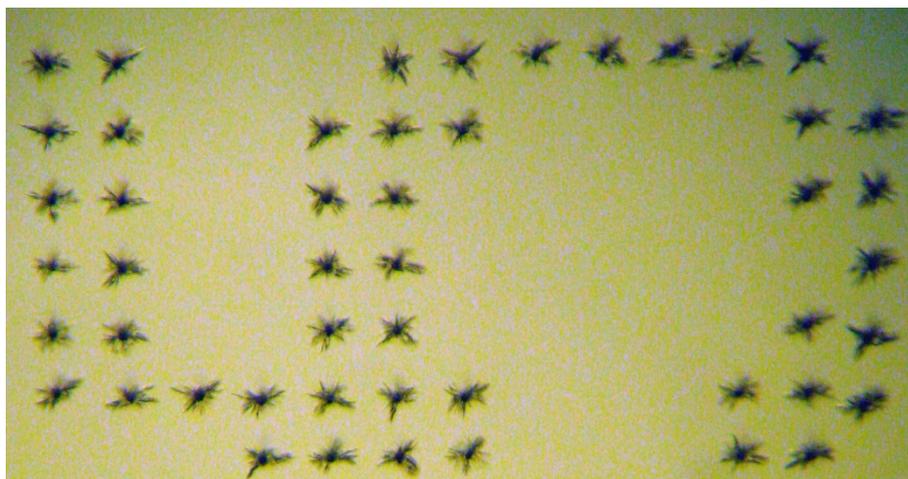


Рис.1 Дефект (вид сверху)

Кафедрой лазерные технологии был разработан лазер нового поколения, работающий на длине волны 532 нм. В качестве активного элемента используется ортованадат иттрия, имеющий большее высокое значение эффективности перестройки на другую длину волны по сравнению с привычным алюминатом иттрия. Использование в резонаторе затвора позволило добиться значительного увеличения частоты излучения до 2 кГц.

В результате обзора литературы [1,2,3,4,5] было выявлено, что стремление к уменьшению длительности импульса ведет к увеличению плотности мощности излучения, участвующей для локальной деструкции материала, поэтому было использовано значение длительности импульсов 5-7 нс. В результате фокусировки излучения получены значения диаметра пятна в пределах 20-25 мкм, что привело к уменьшению размера получаемых дефектов внутри стекла и, соответственно, увеличению разрешающей способности наносимого изображения.

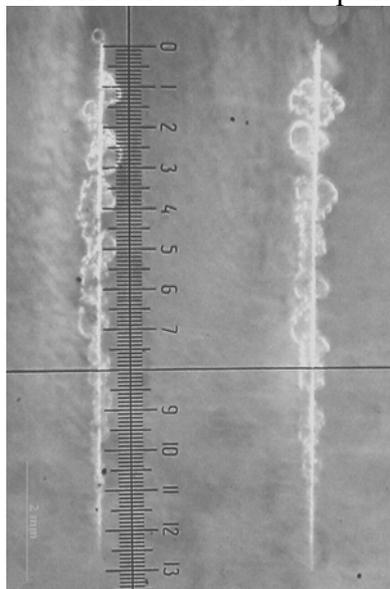


Рис. 2 Фотография дефекта в плоскости XZ (вид сбоку)

Очевидно, что изображение формируется из набора единичных пробоев [4]. Для нанесения единичного дефекта требуется установить зависимость между размером пробоя и энергией в импульсе. С этой целью были проведены эксперименты, на разработанной кафедрой установке. Учитывая, что указанная зависимость во многом определяется и материалом, для проведения исследования было выбрано оптическое стекло марки К-8, которое наиболее распространено. Размер величины области пробоя

в плоскости ХУ – перпендикулярно излучению - определялся как среднее арифметическое двух максимальных длин термоупругих трещин (рис.1). Размер глубины дефекта определялся однозначно при нанесении одно слоя рисунка, его вид представлен на рисунке 2.

Оптимальным значением для получения видимого изображения является размер дефекта порядка 100 мкм. При таких значениях величины дефекта разрешение и вид изображения являются оптимальными для восприятия глазом.



График 1 Зависимость размера термоупругих трещин от вводимой энергии импульса



График 2 Влияние энергии импульса на глубину получаемого дефекта

Определение размера (график 1,2) и формы дефекта в зависимости от мощности лазерного излучения позволяет формировать единичную точку в изображении. Однако не менее важной характеристикой является определение порогового значения величины интервала между точками пробоя, при которых, с одной стороны не происходит разрушения стекла, а с другой – сохраняется целостность восприятия изображения (график 3). В качестве объекта эксперимента были выбраны серии единичных пробоев на разном расстоянии друг от друга. Проведенные исследования показали, что при уменьшении расстояния между наносимыми дефектами при одинаковой энергии лазерного импульса начинает возникать смыкание трещин, образующихся в зоне пробоя. При дальнейшем уменьшении расстояния (рис.4) или увеличении объемной энергии возникает разрушение большей зоны (рис.3), приводящее к браку.

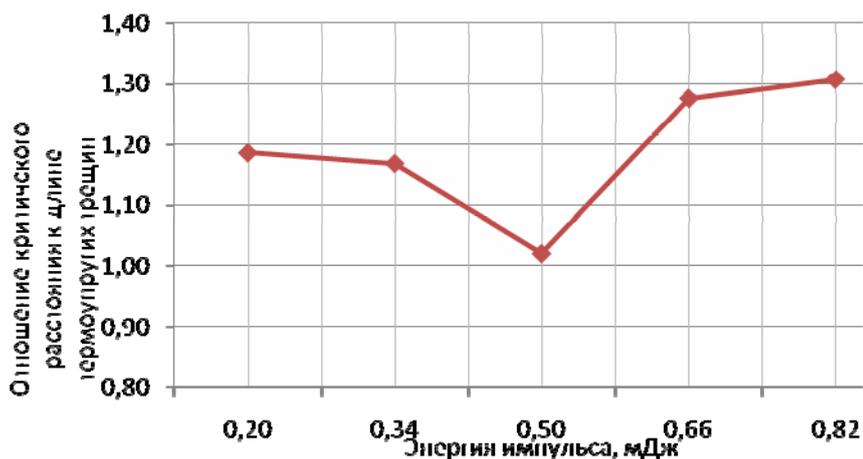


График 3 Влияние энергии импульса на критическое расстояние между дефектами

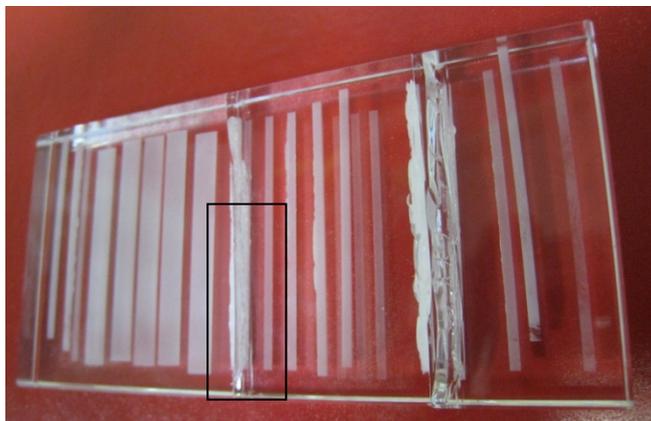


Рис. 3 Растрескивание стекла, вызванное увеличением вводимой мощности



Рис. 4 Результат критического уменьшения расстояния между соседними дефектами

Следует отметить, что при создании изображения внутри прозрачных диэлектриков возможны несколько вариантов технологии производства, каждый из которых находит свое применение:

А) максимальный размер дефекта, позволяющий сделать видимым даже единичную точку. При этом расстояние между соседними дефектами также оказывается максимальным, что создает возможность наносить хорошо видимое объемное изображение (рис. 5).



Рис. 5 Объемное изображение в стекле

Б) минимализация размеров дефекта (в идеале – создание микродефекта, размером несколько нм), вследствие чего такой дефект становится практически невидимым на обычном свете. Такая технология может использоваться для нанесения скрытого изображения на товары для подтверждения их качества или принадлежности к выпускаемой продукции какого-либо предприятия (рис.6).

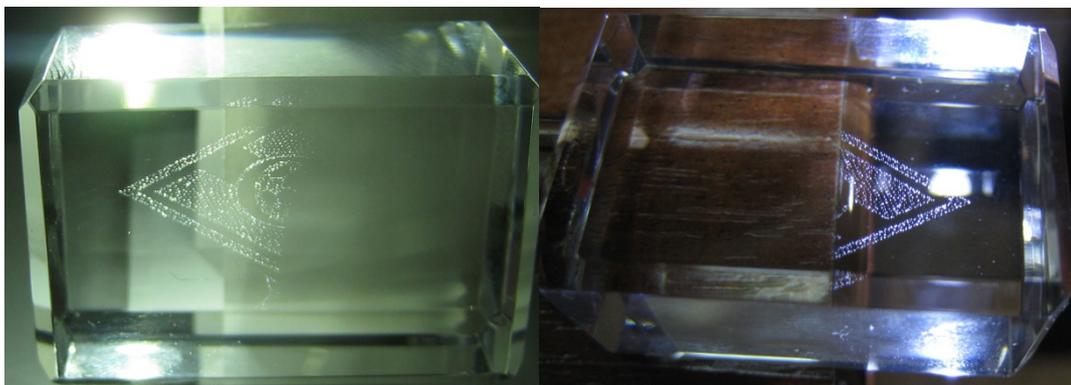


Рис. 6 Скрытое изображение, видимое в сильном свете

В) дефекты промежуточного размера, позволяющие получать в стекле плоское изображение высокого разрешения путем нанесения нескольких слоев обработки (рис. 7).



Рис.7 Вид изображения, выполненного на лазере нового поколения (10 слоев)

Если говорить о нанесении специального изображения (невидимого или квазиевидимого), то направление применения таких изображений может быть разное. Это могут быть обычные картинки с логотипом фирмы, маркировка изображений,

которые могли бы быть невидимыми в обычном свете и т.д. Достижение таких результатов может быть обеспечено путем подбора параметров или создания специализированного типа изображения. Применение таких способов маркировки обеспечивает защиту продукции. Применение такого лазера позволило исследовать такие возможности защиты информации.

Выводы:

В результате проведенной работы можно подвести следующие итоги:

1. Использование лазера с длиной волны 532 нм подходит для нанесения видимой маркировки. Для хорошего восприятия наносимой информации минимальный линейный размер дефекта должен составлять приблизительно 100 мкм.
2. Данный тип лазера позволяет получить квазиневидимое изображение, которое становится хорошо заметным только при сильном освещении образца. Но для получения лучших результатов рекомендуется использовать лазер с УФ излучением [5].

Литература:

1. Вейко В.П., Либенсон М.Н., Червяков Г.Г., Яковлев Е.Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Силовая оптика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 312с.
2. Маненков А.А. Проблемы физики взаимодействия мощного лазерного излучения с прозрачными твердыми телами в области сверхкоротких импульсов. – «Квантовая электроника», 33, №7 (2003)
3. Колдунов М.Ф., Маненков А.А., Поколотило И.Л. Механическое разрушение прозрачных твердых тел лазерными импульсами разной длительности. – «Квантовая электроника», 32, №4 (2002)
4. Иванов И.А., Разработка и исследование способа разделения прозрачных хрупких диэлектрических материалов излучением лазера на парах меди.
5. M.Wehner. Marking. – Eximer Laser Technology, 2005, Part II, 321-330