

Лекция № 19.

Поглощение лазерного излучения прозрачными материалами.

1. Особенности нагрева прозрачных материалов.

Основным различием между процессом поглощения лазерного излучения прозрачных и непрозрачных материалов является объемный, а не поверхностный характер поглощения. Другие характерные черты поглощения лазерного излучения прозрачных материалов следующие:

- большая пороговая плотность мощности поглощенного излучения, вызывающая разрушение материала;
- появление помимо изменений и повреждений термического происхождения (лунки, трещины, напряжения, структурные дислокации) оптических явлений: самофокусировки лазерного пучка, вынужденного рассеивания Бриллюэна, вынужденного двойного лучепреломления, акустических явлений (ультразвуковая волна, фотоупругость) и других, например, электрического пробоя в воздухе в месте входа и выхода лазерного пучка, либо пробоя внутри поглощающего материала. Не все указанные явления обязательно имеют место в каждом случае.

Их появление зависит от вида и свойств поглощающего материала, параметров поглощаемого излучения и продолжительности воздействия лазерного пучка на материал. К прозрачным материалам, применяемым в ПС, в которых происходят сложные процессы поглощения лазерного излучения, относятся и к жидкости, нитроглицерин, нитробензол, бензол. Такие жидкости применяют в конструкциях оптических затворов, оптических дефлекторах, модуляторов, в лазерных технологических установках и различных лазерных оптикоэлектронных информационно измерительных системах. Как правило, основным объектом внимания, если речь идет о конструкции лазеров, и их технологическом применении является поглощение твердых прозрачных материалов.

К ним относятся:

- материалы, обрабатываемые пучком сфокусированного лазерного излучения;
- материалы оптических элементов лазеров, подвергающихся разрушению во время прохождения через них лазерного излучения, например, стекло, кварц, оптические кристаллы, тонкие оптические пленки, германий, арсенид галлия.

Разрушение материала, вызванное поглощением лазерного излучения, появляется после превышения пороговой величины в области мощности излучения. Величины порогового

разрушения материалов, приводимые в различных публикациях, часто значительно различаются. Основные причины этого – различная частота исследуемых материалов и влияние техники измерений на получаемые результаты. Кроме того, как показали исследования некоторых авторов, порог разрушения для данного материала при неизменных параметрах пучка лазерного излучения изменяется. Порог разрушения для поверхности ниже и составляет от 25% - до 100% величины порога разрушения внутри материала соответственно для полированных поверхностей и очень гладких, обработанным, например, ионным пучком. Уменьшение порога разрушения вызвано микрократерами и микроцарапинами на поверхности материала. Поэтому данные о пороге разрушения надлежит трактовать как оценочные величины.

До момента достижения порога разрушения поглощение лазерного излучения в прозрачном материале носит объемный характер. Начальная стадия появления разрушений связана с увеличенным поглощением излучения микронеоднородностями - ионами в неодимовом стекле, либо микропорами на поверхности(внутри) материала. Температура локальных поглощающих центров может достигать нескольких тысяч градусов; например, для оптического стекла ПК-7 она составляет 3000-4000 С⁰; а для полистирола 2000-3200 С⁰.

Следующий этап появления повреждений материала – это лазерный электрический пробой поглощающих центрах. Он происходит в результате локального увеличения температуры и плотности мощности поглощенного излучения. Этот пробой носит характер лавинного электрического разряда аналогичного пробоем в диэлектриках. Самофокусировка пучка лазерного излучения в поглощающем материале, вызывающая увеличение плотности мощности излучения, содействует возникновению лазерного пробоя. Точное знание процесса поглощения лазерного излучения в прозрачных твердых телах позволил использовать его как метод определения чистоты оптических материалов и метод оценки качества оптических поверхностей.

2. Плавление и испарение пучком лазерного излучения прозрачных материалов.

Лазерное резание и сверление отверстий прозрачных и непрозрачных материалов, заключается, как и в случае непрозрачных материалов в плавлении, испарении и выбросе материала из зоны обработки. Это требует использование пучка излучения с плотностью мощности, превышающий порог разрушения. Однако превышение этой величины без

образования больших напряжений, трещин и прочих повреждений, в прилегающем к месту действия лазерного пучка, в слое, требуют оптимального подбора параметров обработки. Основная трудность заключается в большой разнице величин коэффициента отражения и поглощения для материалов до, и после превышения порога разрушения.

Так, например, для рубина коэффициент поглощения составляет 10 см^{-1} до превышения порогового разрушения до 10^3 см^{-1} после превышения порога разрушения. Трещины и другие нежелательные повреждения при сверлении отверстий в рубине возникают уже при энергии лазерных импульсов около 0,5 Дж, поэтому необходимо ограничение энергии импульсов от 0,1-0,3 Дж. Однако поглощение излучения в рубине или алмаза используют покрытие зоны воздействия лазерного пучка поглощающем слое, например локальное чернение. Другой метод оптимизации условий сверления отверстий в рубинах основывается на использовании неравномерного (колебательного) распределения интенсивности импульса лазерного излучения. Первый короткий импульс колебаний имеет большую плотность мощности (при небольшой энергии), он начинает процесс поглощения, разбиваемый следующим импульсом колебаний и равномерной последующей частью импульса с меньшей плотностью мощности.

Поглощение излучения сопровождается увеличением температуры материала, достигающей последовательно температуры плавления и температуры интенсивного испарения. Например, при плотности мощности измерения 10^8 Вт/см^2 температура интенсивности испарения достигается через 0,5 мкс. Увеличение температуры материала вызывает значительное увеличение коэффициента поглощения излучение внутри его и уменьшение коэффициента отражения излучения от его поверхности, например до 0,9 % для полупрозрачной электрокорундовой керамики.

Перегретая поверхность испаряющегося материала имеет при наличии сжатого пара, температуру значительно более высокую, чем температура испарения в нормальных условиях, например для рубина около 5000 С^0 . Струя сжатого пара выходит из лунки со скоростью порядка 1000 м/с; этот процесс носит взрывной характер, что вызывает неравность стенок и формы отверстия, растрескивание материала. Объем лунки и масса удаленного материала, как и энергии, поглощенного излучения. Например, действие одного импульса излучения с энергией 0,1-0,3 Дж дает небольшую глубину лунки (несколько десятков микрометров). Поэтому для получения глубиной несколько десятых миллиметра требуется несколько десятков последовательных лазерных импульсов.

Рассмотренные нами выше проблемы, связанные с воздействием лазерного излучения на прозрачные и полупрозрачные материалы необходимы также и при:

- резании стекла, кварца, керамики и пластмасс CO_2 – лазером непрерывного действия большой мощности;
- резанье тонких полупрозрачных пленок (например, нихрома), нанесенных на диэлектрические подложки лазером на иттрий – алюминиевом гранате непрерывного действия с модуляцией добротности;
- плавлении и нагревании материалов, например, при получении монокристаллов сапфира и других, с применением CO_2 – лазеров непрерывного действия большой мощности.

3. Повреждения лазерных оптических элементов из прозрачных материалов.

Поглощение лазерного излучения с большой плотностью мощности может вызвать в лазерных оптических элементах следующие различного вида повреждения:

- появление трещин и микрократеров на торцовых поверхностях и внутри лазерных стержней активного элемента;
- разрушение тонких зеркальных и противоореольных покрытий;
- разрушение активных поверхностей фокусирующих линз и других оптических элементов лазера.

Основные причины этих повреждений следующие:

- плохое качество оптических материалов, проявляющееся появлению напряжений и увеличению поглощения и рассеивания проходящего или отражающегося излучения;
- плохое качество обработки активных оптических элементов, проявляющееся в существовании микрократеров и микротрещин;
- наличие загрязнений на активных поверхностях оптических элементов.

Устранение указанных причин обеспечит большую долговечность лазерных оптических элементов и стабильность параметров излучения лазеров. Большое значение имеет высококачественная обработка поверхностей активных лазерных элементов. Особенно торцевых поверхностей лазерных стержней, на которых не должно быть микрократеров с размерами, больше чем 0,01 длина волны лазерного излучения..