

©1994

РЕЗКА ТОЛСТЫХ СТЕКЛЯННЫХ ПЛАСТИН ПИКОСЕКУНДНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ СВЕТА

А.А.Постников, М.Б.Стригин, А.Н.Чудинов

Рассматриваемый метод, как и метод, предложенный ранее, основан на возможности получения канала с микротрещинами в объеме плоскопараллельного стеклянного образца излучением импульсного лазера с пассивной синхронизацией мод. Но в отличие от него в рассматриваемом методе используются острая фокусировка лазерного луча и движение линзы навстречу ему. Это дало существенное уменьшение размеров канала с микротрещинами, а также сняло ограничение на линейный размер обрабатываемого образца.

В работе [1] предложен метод разделения прозрачных для лазерного излучения материалов с плоской шлифованной передней поверхностью пикосекундными импульсами света. В его основе лежит возможность получения нити микротрещин излучением лазера с пассивной синхронизацией мод. Такая нитка создает вокруг себя локальное напряжение материала. Если сделать ряд таких ниток, то материал разгрузится путем образования единой трещины, проходящей вдоль созданных каналов с микротрещинами. Таким образом, происходит разделение образца или его «резка».

Дело в том, что в предложенном методе существует ограничение на толщину «разрезаемой» пластины, которая не должна превышать длины каустики сфокусированного лазерного излучения. При этом фокус линзы находится в объеме образца, посередине между входной и выходной плоскостями пластины. Энергия в импульсе должна быть достаточной для инициирования оптического пробоя вблизи задней поверхности образца, после которого обычно образуется микротрещина. Такая геометрия эксперимента и характеристики лазерного излучения позволяют получать нитку микротрещин, которая начинается на задней поверхности пластины, от выстрела к выстрелу растет навстречу лучу в объеме материала и заканчивается на входной поверхности.

Чтобы получить аналогичную нитку микротрещин в более толстом образце, необходимо взять более длиннофокусную линзу и существенно увеличить энергию в лазерном импульсе. При этом увеличивается диаметр получаемых микротрещин, а также уменьшается скорость образования канала с микротрещинами, что является серьезным препятствием к использованию метода на практике. Простое увеличение энергии в импульсе при старой линзе приводит к оптическому пробоя на передней поверхности образца, и дальнейшее проникновение излучения внутрь материала прекращается.

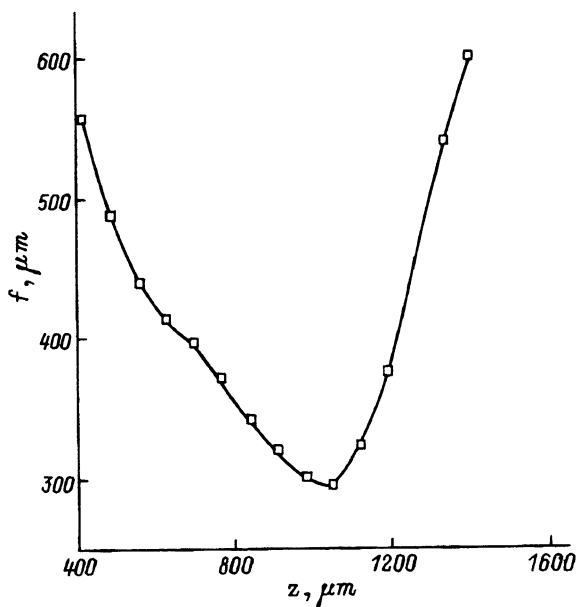


Рис. 1. Зависимость максимального размера микротрещин f от расстояния z до задней (выходной) плоскости образца.

В данной работе предлагается модификация метода, обсуждаемого в [1]. В экспериментах использовался тот же лазер с пассивной синхронизацией мод без специальной системы выделения одиночного пика из пуга импульсов. В качестве экспериментальных образцов применялись плоскопараллельные пластинки из оптического стекла марки К-8 толщиной 8 мм. Входные и выходные поверхности пластинок — полированы. Для экспериментов мы использовали линзу с фокусным расстоянием 60 мм.

На рис. 1,2 представлены экспериментальные зависимости диаметра микротрещины и длины каналов между трещинами от продольной координаты z , отсчитываемой от задней плоскости образца. Для того чтобы ярче проявить зависимость, эксперименты проводились при энергии пучка, на порядок превышающей пороговую. Это допустимо, так как вследствие острой фокусировки порог пробоя на передней поверхности не достигается. Зависимости строились на основе морфологического исследования через микроскоп 7 каналов с микротрещинами. Положение фокуса в образце соответствовало 1000 μm от задней плоскости. За пределами указанной области (т.е. $z < 400$ и $z > 1400 \mu m$) канал в образце не образовывался, хотя микротрещины в форме конуса с вершиной по ходу лазерного луча имели место. Поэтому данная область нами не рассматривалась, тем более что диаметр основания конуса-микротрещины выходил так на стационар. Следует отметить, что диаметр канала в области фокуса ($z \sim 1000 \mu m$) существенно ниже, чем отмеченный в работе [1] (100–200 μm), и составил $\sim 50 \div 100 \mu m$.

Из анализа зависимостей (рис. 1,2) можно заключить, что канал с микротрещинами образуется с максимальной скоростью в области фокуса линзы, причем с наименьшими разрушениями для материала. Мы использовали данный факт для модификации метода разделения плоскопараллельных стеклянных образцов, предложенный в [1]. С этой

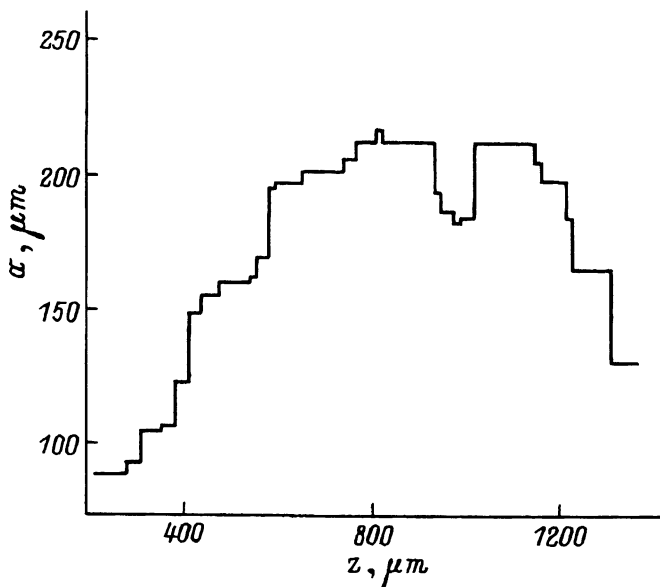


Рис. 2. Гистограмма длины канала a между двумя соседними микротрещинами в зависимости от расстояния z .

целью нами использовался продольный микрометрический столик, на котором была установлена упомянутая выше короткофокусная линза. В начале эксперимента ее фокус находился вблизи задней поверхности образца. После получения оптического пробоя и микротрещины линза сдвигалась навстречу лучу.

В дальнейших экспериментах мы работали с энергией в импульсе вблизи пороговой для получения оптического пробоя. В этом случае мы смогли получить канал без микротрещин. Причем максимальный его диаметр не превышал $50 \mu\text{m}$, но хаотические оплавы вокруг увеличивали размер неоднородностей до $100 \mu\text{m}$, что на порядок меньше размера разрушений, приведенных в работе [1]. По-видимому, мы попали в такой режим образования канала, когда механических напряжений не хватает для получения микротрещин. Сдвигая образец перпендикулярно лучу, можно получить ряд таких каналов. При этом образуется единая трещина, проходящая вдоль каналов. Следует отметить, что минимальное расстояние между каналами определяется максимальными размерами разрушений. Из экспериментальных данных следует, что $l/d \approx 3$, где l — максимальное расстояние между каналами, а d — средний поперечный размер канала. Таким образом, в данном методе мы можем на порядок уменьшить неоднородности поверхности разреза образца, которые также не превышают $100 \mu\text{m}$.

В заключение следует отметить, что мы не проводили оптимизации данного метода, хотя предварительные оценки указывают на возможность получения канала диаметром порядка $30-50 \mu\text{m}$ и со скоростью больше 10 mm/s .

Полученная чистота поверхности разреза достаточна для применения предложенного метода на практике, например при изготовлении затравочных пластин для роста кристаллов (кварц). Рассматривае-

мый метод применим к материалам, прозрачным для используемого лазерного излучения, т.е. к прозрачным диэлектрикам. Важно, что в области взаимодействия лазерного импульса с веществом не происходит существенных фазовых изменений материала в отличие от традиционных лазерных методов, основанных на локальном плавлении вещества.

Авторы выражают благодарность Б.Я.Зельдовичу за внимание к работе и полезные обсуждения.

Список литературы

- [1] Зельдович Б.Я., Стригин М.Б., Чудинов А.Н. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. № 7. С. 59-61.

Челябинский государственный
технический университет

Поступило в Редакцию
23 декабря 1993 г.

