

05.2;07

©1994

## НОВЫЕ МЕТОДЫ РАСКАЛЫВАНИЯ СТЕКЛА УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

*В.Л.Канцырев, О.В.Комардин, В.Ф.Солинов,  
М.Я.Яковлев*

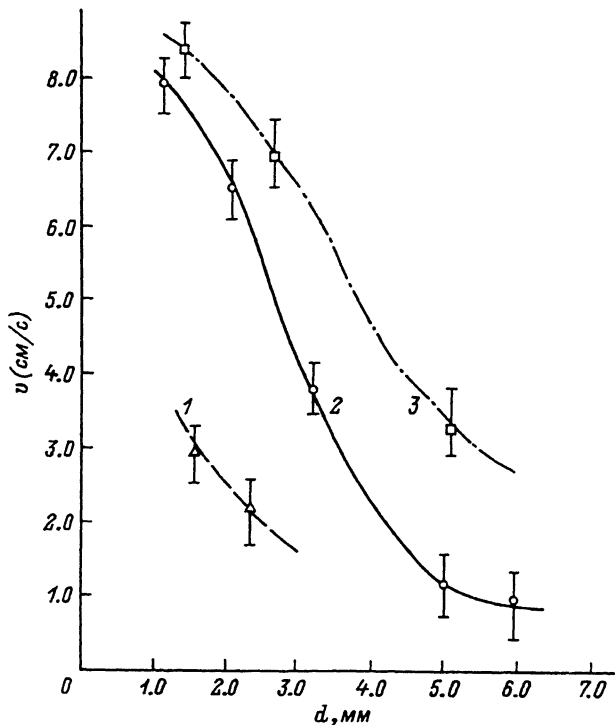
Традиционные методы лазерного раскалывания (резания) прозрачных диэлектриков основаны на термическом воздействии на вещество. К ним относятся, например, термораскалывание  $\text{CO}_2$  лазером ( $\lambda = 10.6$  мкм), основанное на создании в стекле или керамике разрушающих напряжений при интенсивном охлаждении области диэлектриков, нагретой предварительно лазерным лучом. Для метода характерно высокое качество края реза, однако скорость термораскалывания имеет принципиальное ограничение, связанное с термомеханическими свойствами стекла [1].

В настоящей работе экспериментально показано, что при определенных параметрах лазерного излучения возможно получение совокупности микротрещин в стекле, которая, начинаясь на поверхности стекла, распространяется в глубь его вдоль линии перемещения лазерного луча и приводит в конечном итоге к полному разделению образца.

Суть нового метода состоит в создании на поверхности стекла лазерного плазменного факела, импульсное давление в котором превышает  $10^3 - 10^4$  атм [2], и образовании в стекле ударной волны, распространяющейся в глубь стекла. При этом образуются зоны повышенных механических напряжений и микротрещин, идущие от поверхности в глубь образца.

Первой особенностью метода является применение импульсных эксимерных лазеров с длиной волны менее 350 нм (например, КгF или ХеCl лазеров). Это излучение хорошо поглощается в тонких приповерхностных слоях стекла (около 0.2–0.5 мм) и при острой фокусировке образует лазерный факел на поверхности стекла (при  $q_{\text{гран}} \geq 10^7$  Вт/см<sup>2</sup>).

Вторая особенность — использование фокусировки лазерного излучения на мишени в пятно в виде вытянутого эллипса, большая ось которого ориентирована по направлению движения луча лазера по поверхности стекла. При таком способе облучения разгрузка стекла после импульса в зоне пятна фокусировки происходит анизотропно, что вызывает образование единого канала микротрещин, и затем



Линейная скорость разделения стекла ( $v$ ) УФ излучением ХеС1 лазера в зависимости от его толщины  $d$  для различной мощности лазерного воздействия  $P$  ( $\nu$  — частота следования лазерных импульсов).

1 —  $P = 20$  Вт ( $\nu = 40$  Гц), 2 —  $P = 25$  Вт ( $\nu = 45$  Гц), 3 —  $P = 40$  Вт ( $\nu = 50$  Гц).

единой сквозной трещины, которая при движении лазерного пятна вдоль образца может быть сколь угодно большой длины [3].

В опытах использовались установка, состоящая из мощного ультрафиолетового (УФ) эксимерного лазера и однокоординатного стола с кареткой для перемещения образцов из стекла (линейная скорость до 10 м/мин). Длина волны лазерного излучения — 308 нм (ХеС1), энергия в импульсе до 1.2 Дж, длительность импульса — 40 нс, частота следования импульсов — до 50 Гц. Так как в эксимерном лазере использовался плоскопараллельный резонатор, то расходимость излучения по горизонтальной и вертикальным осям отличалась примерно вдвое. Это позволило фокусировать излучение на стекле в пятно вытянутой формы, используя простую сферическую оптику.

Изучалось воздействие мощных УФ лазерных импульсов на образцы из различных видов стекол, однако наилучшие результаты получены для флоат-стекла.

Для тонких стекол (толщина  $d \leq 2 - 3$  мм) полное разделение происходило при однократном проходе лазерного луча вдоль образца. На рисунке представлена экспериментальная зависимость линейной скорости разделения стекла от его толщины при различной мощности лазера (частоте следования импульсов). Видно, что скорость разделения образцов резко возрастала при увеличении частоты следования импульсов.

Можно предположить следующий механизм раскалывания образцов. При воздействии лазерного плазменного факела на стекло образуется вытянутый кратер (в нашем случае длиной до 500 мкм) с отходящими от него микротрещин. При перемещении лазерного луча вдоль образца, когда шаг между пятнами фокусировки не более 1.5 мм, происходит смыкание этих микротрещин в одну общую и образование сквозной магистральной трещины, приводящей к разделению образца. Поверхность стекла в зоне раздела после раскалывания остается довольно неровной — ширина и глубина зоны микротрещин в области раздела достигала 200–400 мкм (в каждую сторону от границы раскола). Экспериментально показано, что ширина зоны микроуражений может быть уменьшена по крайней мере двумя методами [4].

Суть первого метода состоит в нанесении на стекло перед раскалыванием тонкого слоя легкой углеводородной жидкости (например, керосина). Ширина зоны дефектов уменьшалась из-за того, что лазерный факел образовался на поверхности жидкости и раскалывание стекла происходило под действием гидроудара без образования кратера и ухудшения структуры поверхности.

При втором методе лазерное воздействие проводилось в атмосфере различных газов (азот, кислород, различные виды фреонов) при избыточном давлении до 0.5–1 атм. Оказалось, что обработка в атмосфере фреона приводит к уменьшению ширины зоны микротрещин в 2–3 раза. Можно предположить, что это — результат фотохимических реакций активных поверхностных центров, возникающих при механическом разделении стекла [5], с продуктами разложения фреона (различными активными соединениями фтора) в присутствии мощного УФ излучения.

Образцы толщиной более 5–6 мкм разделялись при 2–3 последовательных проходах лазерного луча. Повысить скорость разделения оказалось возможным, используя следующий эффект. Если после первого прохода лазерного луча и формирования затравочной трещины лазерное излучение

фокусировалось в край образца на начало этой трещины, то в зоне лазерного воздействия возникала затем сквозная трещина, которая развивалась вдоль направления затравочной трещины на расстояние до нескольких десятков сантиметров от точки фокусировки лазерного излучения. Можно предположить, что механизм этого явления состоит в создании разрушающих механических напряжений в конце затравочной трещины под действием сфокусированной звуковой волны, распространяющейся вдоль трещины от места ударного воздействия лазерных импульсов на стеклянный образец.

Таким образом, в представленной работе предложены новые методы разделения плоского стекла наносекундными импульсами ультрафиолетового лазерного излучения. Методы основаны на образовании зоны механических напряжений и микротрещин в стекле при прохождении ударной волны, созданной поверхностным лазерно-плазменным факелом. Дальнейшее ударное лазерное воздействие приводило к образованию сквозной магистральной трещины и разделению образца вдоль созданной зоны. Использование различных покрытий и ударно-лазерное воздействие в атмосфере активных газов позволяют значительно уменьшить зону микротрещин и дефектов, образующихся на поверхности раскола при лазерном воздействии.

#### Список литературы

- [1] *Технологические лазеры*. Справочник. Т. 1. М., 1991.
- [2] Ванс Е.Д., Мечетнер Б.Х., Соколов Б.М. и др. Лазерная обработка отверстий в технических рубиновых камнях. Л., 1975. С. 10.
- [3] Финкель В.М. Физика разрушений. М., 1978.
- [4] Канцырев В.Л., Комардин О.В., Солинов В.Ф., Яковлев М.Я., Шляпцева А.С. // Тез. 8 конф. по радиационной физике и химии неорганических материалов. Томск, ноябрь 1993. С. 44.
- [5] Загоревский В.А. // Физика и химия стекла. 1988. Т. 14. В. 2. С. 256-261.

Научно-исследовательский институт  
технического стекла  
Москва

Поступило в Редакцию  
26 февраля 1994 г.