

07; 12

© 1993

НОВЫЙ МЕТОД ЛАЗЕРНОЙ
РЕЗКИ ПРОЗРАЧНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВБ.Я. З е л ь д о в и ч, М.Б. С т р и г и н,
А.Н. Ч у д и н о в

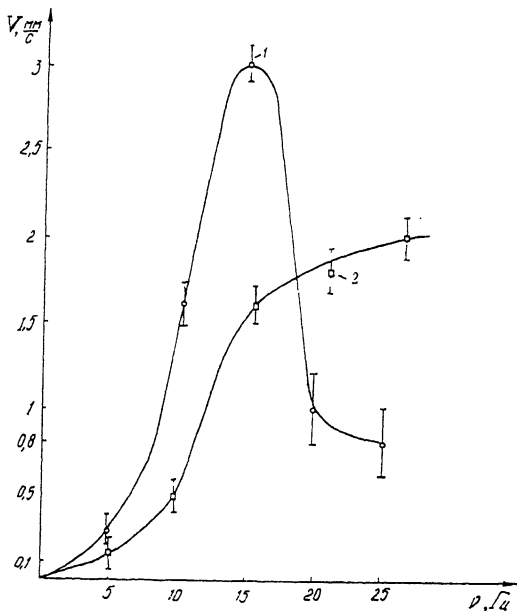
Для прозрачных диэлектриков существует порог мощности лазерного излучения, выше которого наступает оптический пробой и образуется микротрещина [1]. Образец становится локально оптически непрозрачным. Известно, что для большинства материалов порог поверхностного разрушения диэлектрика ниже, чем порог объемного разрушения. В основном это вызвано тем, что в приповерхностном слое сосредоточено значительно больше дефектов, чем в объеме вещества [2]. Для разрушения задней поверхности плоскопараллельной пластины прозрачного диэлектрика требуется меньшая мощность лазерного излучения, чем для передней. Объясняется это интерференцией падающей лазерной волны с отраженной от задней грани [3].

В данной работе показано, что при определенных характеристиках лазерного излучения возможно получить канал микротрещин, который начинается на задней грани, распространяется в объеме диэлектрика и заканчивается на передней поверхности образца. Передвигая образец перпендикулярно лучу, создаем ряд таких каналов микротрещин. Каждый канал наводит вокруг себя в некоторой окрестности механическое напряжение материала. Разгрузка всего образца происходит образованием единой трещины, проходящей вдоль созданных каналов. В этом и заключается суть предложенного метода.

В эксперименте использовался $YAG: Nd^{3+}$ лазер с пассивной синхронизацией мод. Лазер работает на TEM_{00} моде. Длительность отдельного пика в цуге импульсов была около 100 пс. В пачке было до 25 импульсов. Энергия цуга импульсов составляла 30×10^{-3} Дж.

Излучение лазера делилось клином на два пучка. Один из пучков падал на фотодиод, который использовался для контроля интенсивности падающего излучения. Второй пучок длиннофокусной линзой направлялся на образец (фокусное расстояние линзы 25 см). Диаметр пучка на входе линзы был 1.5 мм.

Эксперименты проводились на образцах из стекла К-8, пьезокварце и лейкосапфире. Образцы представляли собой плоскопараллельные пластины толщиной 8, 10 и 9 мм для стекла К-8, пьезокварца и лейкосапфира соответственно. Основные результаты получены на стеклянных образцах.



Зависимость скорости образования канала микротрещин V от частоты лазера: 1 - фокус линзы расположен внутри стеклянного образца, 2 - фокус линзы находится на задней грани плоскопараллельной стеклянной пластины.

На рисунке представлена зависимость скорости роста канала микротрещин в зависимости от частоты следования цугов пикосекундных импульсов. Представлены две зависимости: а) когда фокальная перетяжка лазерного пучка расположена внутри образца, б) когда положение фокуса находится на задней грани.

Как и ожидалось, разрушение начиналось на задней поверхности, затем продолжалось внутри образца и выходило на переднюю грань.

При рассмотрении рисунка можно заключить, что существует оптимальная частота следования импульсов, когда скорость образования канала микротрещин максимальна и составляет 3 мм/с. При частоте следования импульсов ≤ 3 Гц процесс образования нитки микротрещин не начинался. Когда же частота лазера была больше 20 Гц, в образце часто образовывались самофокусирующиеся нити, и рост канала микротрещин почти прекращался.

Форма микротрещин внутри образца при рассмотрении в микроскоп была следующей. Вдоль направления распространения лазерного излучения, проходил канал диаметром примерно 200 мкм, на который через определенные промежутки нанизаны микротрещины в виде воронок, сужающихся по направлению распространения света. Размах воронки был примерно 800 мкм, что по порядку величины равно диаметру перетяжки. Канал частично был заполнен

шаровидными образованиями диаметром порядка 50 мкм и меньше. Описанная морфология относится к каналу микротрещин, образованному импульсами излучения при работе лазера с частотой 10–12 Гц. При других частотах общий характер разрушения оставался таким же, но менялись детали. Так, полый канал становился более узким, до 50 мкм при больших частотах, иногда переходящий в самофокусирующую нить диаметром меньше 10 мкм. Он был полностью заполнен шаровидными образованиями. Общий характер нитей микротрещин оставался таким же при их образовании в пьезокварце и лейкосапфире, когда лазер работал с частотой 12 Гц. На частоте, отличной от 12 Гц, эксперимент не проводился в лейкосапфире и пьезокварце.

Полученный канал микротрещин мы использовали для резки стеклянного образца. Следующий канал можно образовать в стекле, если очередной луч не захватывает воронку предыдущего канала. Таким образом, минимальное расстояние между нитками определяется диаметром максимальной воронки. Максимальное расстояние между нитками микротрещин, когда трещина образуется в процессе их роста, было 1,5 мм. В принципе поперечное расстояние между точками, подвергаемыми сквозной прошивке каналом, может быть сделано еще большим, и при этом все еще сохраниться эффект разрезания образца поперек. В этом случае рост общей трещины происходит самопроизвольно через некоторое время. Такое расстояние составляло 2,5 мм. В сериях экспериментов, когда расстояние между каналами было больше 2,5 мм, общей трещины так и не образовалось.

Сдвигая образец в двух направлениях перпендикулярно лучу, можно было вырезать любые наперед заданные фигуры. При этом сам образец можно было повернуть под углом почти 45° к направлению луча.

Суммируя, можно сказать, что в данной работе предложен новый метод резки прозрачных диэлектриков пикосекундными импульсами света. Данный метод основан на обнаруженной возможности получить канал микротрещин. Существует оптимальная частота работы лазера с пассивной синхронизацией мод для образования такого канала.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Р э д и Дж. Действие мощного лазерного излучения. М.: Мир, 1974. 470 с.
- [2] Д а н и л е й к о Ю.К., М а н е н к о в А.А., П р о х о р о в А.М., Х а и м о в – М а л ь к о в В.Я. // Тр. ФИАН СССР. 1978. Т. 101. С. 9–30.
- [3] Г о л у б ц о в А.А., П и л и п е ц к и й Н.Ф., С у д а р к и н А.Н., Ч у д и н о в А.Н., Ш к у н о в В.В. // ДАН СССР. 1985. Т. 282. С. 861–865.

Поступило в Редакцию
15 марта 1993 г.