

## О РАЗВИТИИ НИТЕЙ САМОФОКУСИРОВКИ В ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ

*Г.М.Зверев, Э.К.Малдугис, В.А.Пашков*

При фокусировании мощного лазерного излучения в объем прозрачных диэлектриков – стекла, сапфира и рубина можно наблюдать разрушения в виде тонких нитей диаметром несколько микрон и длиной свыше 1 см [1, 2].

Наблюдавшиеся в работе [1] нитевидные разрушения в стекле были связаны в [3] с волноводным распространением света в результате самофокусировки лазерного пучка [4]. Однако теоретическое рассмотрение вопроса о существовании устойчивого волноводного канала в нелинейной среде встречает значительные трудности [5]. В то же время численное решение задачи о самофокусировке лазерного пучка в нелинейной среде, полученное в [6], приводит к появлению отдельных ярких точек на оси пучка, а не волноводного канала.

Мы установили, что наблюдаемые в стекле и сапфире нитевидные разрушения не связаны с образованием протяженного волновода. Эти разрушения возникают при перемещении в среде навстречу падающему излучению зоны схлопывания светового пучка вследствие возрастания нелинейности и сокращения длины самофокусировки за время лазерного импульса.

В эксперименте излучение второй гармоники неодимого лазера ( $\lambda = 0,53 \text{ мкм}$ ) фокусировалось линзой  $f = 10 \text{ см}$  в объеме протяженных образцов ( $\sim 10 \text{ см}$ ) оптического стекла и лейкосапфира. Лазер работал в одной поперечной моде с аксиальносимметричным гауссовым распределением поля; модуляция добротности осуществлялась фототропным затвором. Энергия гармоники достигала 0,02 Дж при длительности импульса  $\sim 10 \text{ нсек}$  и могла ослабляться нейтральными фильтрами. Диаметр пучка в плоскости линзы составлял 1,5 мм.

Использование одномодового лазера позволяет воспроизводимо получать одно нитевидное разрушение за вспышку. Отметим, что для из-

лучения с  $\lambda = 0,53 \text{ мкм}$  протяженность нитей больше, чем для  $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$ , и они не сопровождаются сильным растрескиванием материала.

При мощности, соответствующей порогу разрушения, (для лейкосапфира  $0,5 \text{ Мвт}$ , для стекла К-8  $0,3 \text{ Мвт}$ , для ЖС-11  $0,1 \text{ Мвт}$ , диаметр фокального пятна  $\sim 5 \cdot 10^{-3} \text{ см}$ ) в фокусе линзы появляется короткое нитевидное повреждение длиной  $0,2 - 0,5 \text{ мм}$ .

С увеличением мощности длина нити увеличивается, причем развитие ее происходит только в одну сторону – навстречу падающему излучению. Максимальная длина нитей при полной мощности излучения достигает  $20 \text{ мм}$  и превышает длину фокальной области линзы ( $\sim 3 \text{ мм}$ ).

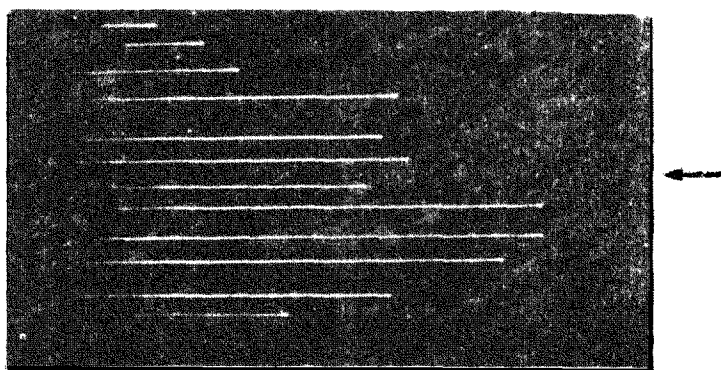


Рис. 1. Стрелка показывает направление распространения лазерного пучка. Увеличение  $4\times$

На фотографии (см. рис. 1) приведена серия нитевидных разрушений в сапфире, полученных при различном уровне мощности. После каждой вспышки образец перемещался перпендикулярно оси лазерного пучка. Концы нитей, удаленные от входной поверхности образца, расположены практически на одной линии. В то же время положение противоположных концов нитей определяется уровнем мощности лазерного излучения. К этому концу нить утолщается от  $5$  до  $10 - 12 \text{ мкм}$  и заканчивается трещиной  $\sim 0,1 \text{ мм}$ .

Появление нитевидных разрушений, длина которых существенно превышает длину фокальной области линзы, а диаметр слабо зависит от падающей мощности, связано с явлением самофокусировки. Наличие самофокусировки подтверждается наблюдением яркого центрального пятна в распределении поля, прошедшего через образец, при мощности

несколько ниже порога разрушения (рис. 2). При пороговой мощности происходит схлопывание светового пучка в фокальной области линзы и разрушение материала в зоне схлопывания. Напряженность поля в этой зоне  $E = [16P/cnd^2]^{1/2}$ , где  $P$  – мощность,  $d$  – диаметр нити,  $c$  – скорость света,  $n$  – показатель преломления, может достигать величины  $3 \cdot 10^7$  в/см, близкой к порогу светового пробоя [7].

Если мощность лазерного импульса превышает пороговую, то в первый момент схлопывание снова происходит в фокальной области линзы; затем, с дальнейшим нарастанием амплитуды поля в течение импульса  $\Delta n$  – нелинейная добавка к  $n$  возрастает, длина самофокусировки уменьшается, и зона схлопывания перемещается навстречу лазерному пучку. Перемещение этой зоны создает нитевидное разрушение материала. На спаде лазерного импульса рост  $\Delta n$  прекращается, и оставшаяся энергия импульса поглощается в плазме пробоя, вызывая характерное растрескивание.

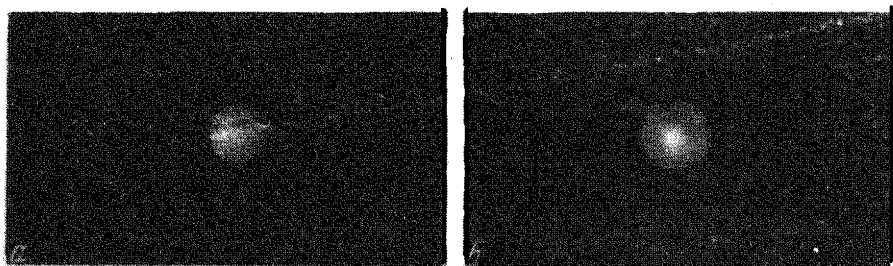


Рис. 2. Распространение поля в фокусе линзы  $f = 40$  см в образце стекла ЖС-11; а – мощность излучения  $P = 0,5P_{\text{пор}}$ , б –  $P = 0,9P_{\text{пор}}$ . Увеличение 65х

Проведенное рассмотрение справедливо как для мгновенного отклика нелинейности среды, так и для инерционных механизмов нелинейности (тепловой нагрев, электрострикция), характерных для твердых тел. Скорость развития нити ( $\sim 10^8$  см/сек) будет зависеть от времени установления нелинейности.

Таким образом, изложенные результаты показывают, что нитевидные разрушения в твердом теле не связаны с существованием оптического волновода, так как в противном случае нитевидные повреждения развивались бы из фокальной области по направлению лазерного пучка.

Поступило в редакцию  
2 декабря 1968 г.

## Литература

- [1] M. Hercher. *J. Opt. Soc. Amer.*, **54**, 563, 1964.
- [2] Г.М.Зверев, Т.Н.Михайлова, В.А.Пашков, Н.М.Соловьева. Письма в ЖЭТФ, **5**, 391, 1967.
- [3] R. Y. Chiao, E. Garmire, C. H. Townes. *Phys. Rev. Lett.*, **13**, 479, 1964.
- [4] Г.А.Аскарьян. ЖЭТФ, **42**, 1567, 1962.
- [5] С.А.Ахманов, А.П.Сухоруков, Р.В.Хохлов. УФН, **93**, 19, 1968.
- [6] А.Л.Дышко, В.И.Луговой, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, **6**, 655, 1967.
- [7] Г.М.Зверев, Т.Н.Михайлова, В.А.Пашков, Н.М.Соловьева. ЖЭТФ, **53**, 1849, 1967.