

И.В. Ушаков

Влияние макроскопической трещины на величину оптической прочности твердых прозрачных диэлектриков

Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина

Поступила в редакцию 28.12.2005 г.

Исследовано воздействие импульсного лазерного излучения на образцы с макроскопическими трещинами. Определены механизмы воздействия трещин на оптическую и механическую прочность образцов. Обсуждена зависимость оптической прочности от времени существования трещины. Показано, что воздействие излучения допороговой интенсивности на образец с трещинами способно приводить к увеличению его механической и оптической прочности.

Состояние материала вблизи поверхностей трещины зависит от времени существования трещины, условий окружающей среды, характеристик материала и других факторов. Рост трещин в диэлектрике сопровождается эмиссией электронов, пластической деформацией, возникновением областей напряженного состояния [1–3]. Воздействие трещинноватого слоя на оптическую прочность материала исследовано в ряде работ [4–9]. Однако многие явления оценены только качественно, отсутствуют исследования, рассматривающие весь комплекс процессов, определяющих оптическую прочность материала с трещинами.

Подробно рассмотрено влияние поверхностного трещинноватого слоя на лазерную прочность поверхности, однако технология получения трещинноватого слоя такова, что помимо трещин поверхностный слой содержит микронеровности поверхности, инородные включения, структурные дефекты и пр. Таким образом, многие явления оценены только качественно, отсутствуют исследования, рассматривающие весь комплекс процессов, определяющих оптическую прочность материала с трещинами. Физические процессы, приводящие к оптическому пробою на трещине, не отделены от других механизмов инициирования оптического пробоа.

Целями работы являются: 1) исследование взаимосвязи между процессами, сопровождающими рост трещины, и оптической прочностью прозрачных материалов; 2) уточнение причин низкой оптической прочности прозрачных материалов с трещинами; 3) изучение явлений, сопровождающих оптический пробой на трещине.

Методика проведения эксперимента

1. Исследования проводили на монокристаллах NaCl, KCl, LiF, CaCO₃. В различных экспериментальных сериях использовали образцы с разным содержанием примесей. Из большого монокристалла выкалывали заготовки размером 15×30×16 мм. Каж-

дую заготовку раскалывали на две равные части, каждая размером 15×30×8 мм. В одну из них, в плоскости (100), вводили макроскопическую трещину длиной примерно 6 мм. Вторую оставляли без изменения. Облучали образцы и с трещиной, и без трещины. Фиксировали количество импульсов излучения до разрушения. Образцы располагали таким образом, чтобы трещина находилась в зоне облучения. Проведена серия экспериментов, в которых меняли ориентацию входной поверхности образца (100) к направлению распространения излучения от перпендикулярной к параллельной с шагом 5°.

Использовали оптический квантовый генератор (ОКГ) ГОС 1001, длина волны излучения 1060 нм, длительность импульса около 1 мс. Энергию импульсов варьировали от 40 до 500 Дж, а площадь облучаемой поверхности от 12 до 100 мм². Кристаллы облучали импульсами, начиная с $E = 0,7E_{th}$ (E_{th} – пороговая энергия), и увеличивали энергию каждого следующего импульса на 10% до разрушения образца. Подробные характеристики излучения приведены в [10].

Вторая методика облучения основана на фокусировании импульсов излучения в объем образца для получения нелинейных оптических эффектов.

Экспериментальные результаты и обсуждение

Разрушение кристаллов с исходной макроскопической трещиной вследствие оптического пробоа на поглощающих включениях

При облучении кристаллов кальцита с крупными поглощающими включениями (до ≈ 50 мкм и более) импульсами излучения допороговой интенсивности в объеме образцов на месте крупных поглощающих включений возникали оптически наблюдаемые области повреждения размерами до 0,3 мм. Кальцит в окрестностях этих центров разлагался.

Увеличение энергии импульсов приводило к разрушению образцов за счет появления на поглощающих включениях магистральных трещин в плоскостях спайности. Таким образом, причиной разрушения кристаллов кальцита и роста исходной макроскопической трещины является нагрев поглощающих включений, расположенных в объеме материала.

Щелочно-галогидные кристаллы (ЩГК), как правило, разрушались вследствие возникновения на поглощающих включениях магистральных лазерно-индуцированных трещин, часто объединявшихся с исходной макротрещиной. Макроскопическая лазерно-индуцированная трещина может зародиться в плоскости, параллельной плоскости исходной трещины, и объединиться с ней благодаря переходам по плоскостям $\{110\}$ и $\{100\}$.

Объединение достаточно развитой лазерно-индуцированной трещины, лежащей в плоскости (001) , с исходной часто приводило к отколу части кристалла. Наблюдали случаи, когда в отсутствие крупных очагов разрушения исходная трещина проросла, становясь магистральной.

Магистральные трещины возникали в плоскостях $\{100\}$. Трещины, расположенные в плоскостях $\{110\}$, достаточно развиты только в области оптического пробоя.

На рис. 1 приведены схемы характерных макрокартин лазерно-индуцированного разрушения образцов с исходной макроскопической трещиной. Причиной подрастания исходной макроскопической трещины в образцах, разрушившихся по схеме (рис. 1, *в*), могут являться механические напряжения, возникающие в кристалле при распространении в нем мощного импульса лазерного излучения. Для образцов, разрушившихся по схеме (рис. 1, *б*), — это термические напряжения от нагретых поглощающих включений и механические напряжения, сопровождающие рост лазерной трещины. Основной причиной роста исходной макроскопической трещины в образцах, показанных на рис. 1, *г-к*, по-видимому, является ее взаимодействие с лазерно-индуцированной трещиной.

По мере уменьшения содержания примесей в ЩГК увеличивается роль макротрещины в деградации материала при импульсном облучении.

Особенности инициирования оптического пробоя на плоскости трещины и выходной поверхности образцов кальцита самоканализированным излучением

В результате облучения возникают два канала выжженного материала, соответствующие обычному и необыкновенному лучам. Каналы, максимальная длина которых достигает 3 мм, идут от выходной поверхности в объем образца.

Как правило, самоканализирование приводит к инициированию оптического пробоя в точке фокуса. В то же время при меньшей энергии импульса возможно прохождение самоканализированного излучения сквозь кристалл. В этом случае для генерирования оптического пробоя необходимо нахождение на пути распространения самоканализированного излучения поглощающего включения, поверхности кристалла или другой оптической неоднородности.

Оптический пробой на выходной поверхности приводит к образованию плазменного факела и выгоранию материала в глубь образца навстречу самоканализированному излучению (рис. 2).

Давление образующейся плазмы не превышает критического значения, необходимого для разрушения образца, за счет того что выгорание материала начинается от выходной поверхности и плазма выходит из образующегося канала. Отсутствие дефектов перед вершиной канала (на пути прохождения самоканализированного излучения) подтверждает предложенный механизм их образования.

Оптическая прочность выходной поверхности ниже, чем оптическая прочность входной поверхности и объема образца. В рассматриваемом случае это в основном связано с двумя причинами: интерференция между падающим излучением и излучением, отраженным от выходной поверхности [6]; фокусирование и самоканализирование излучения приводят к увеличению плотности мощности падающего излучения у выходной поверхности.

Оптический пробой на поверхности образца приводит к образованию поврежденного слоя, механическая целостность образца в этом случае может сохраняться. Для механического разрушения доста-

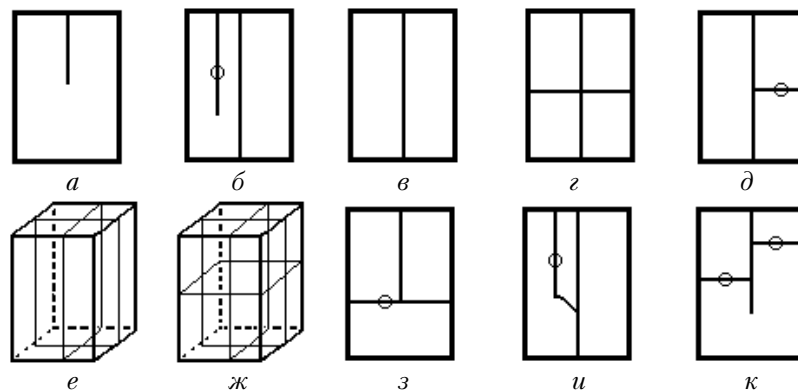


Рис. 1. Макрокартини лазерно-индуцированного разрушения образца с исходной макротрещиной: *а* — исходный образец с макроскопической трещиной; *б-к* — разрушения образца после облучения. На рис. *б, д, з, и, к* точками *О* показаны области оптического пробоя на поглощающих включениях

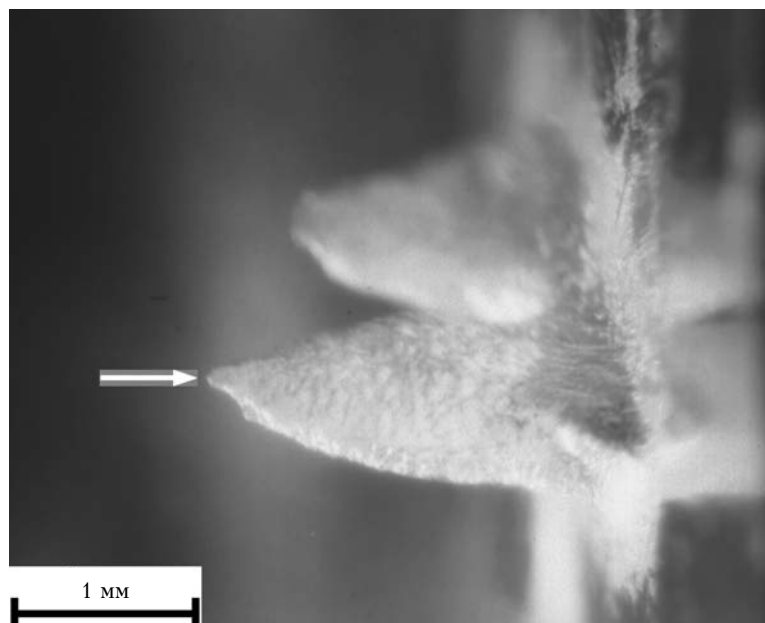


Рис. 2. Каналы выжженного материала, идущие от выходной поверхности в центр образца. Стрелкой показана вершина канала, а также направление распространения излучения

точно большого образца (размеры которого много больше толщины поврежденного слоя) необходимо формирование в нем механических волн, интерференция которых способна разрушить образец [11]. Только часть энергии плазмы приповерхностного оптического пробоя передается образцу. Возникновение плазмы оптического пробоя приводит к поглощению лазерного излучения и экранированию от него объема образца.

В случае нахождения на пути прохождения самоканализованного излучения поверхности макроскопической трещины оптический пробой приводит к механическому разрушению образца.

Механическое разрушение при оптическом пробое в объеме происходит за счет давления, оказываемого нагретым газом (плазмой) на окружающий материал. Таким образом, оптический пробой на трещине более опасен для кристалла, чем оптический пробой на поверхности кристалла. Вершина трещины, особенно не состаренной, является потенциально опасным местом развития разрушения. Все зарегистрированные случаи оптического пробоя на трещине, как в случае расположения на поверхности трещины поглощающего включения, так и за счет пробоя самоканализованным излучением, приводили к росту трещины и механическому разрушению образца.

Влияние времени существования трещин на оптическую прочность твердых прозрачных материалов

К настоящему времени установлено, что рост трещин примерно в половине твердых прозрачных тел сопровождается эмиссией электронов. Снижение оптической прочности, вызванное свободными электронами, наиболее отчетливо проявляется на мате-

риалах, имеющих высокий порог оптического пробоя. Для таких материалов свободные электроны играют роль заправочных электронов, инициирующих развитие электронной лавины.

В работах [7, 12] показано, что подсветка ультрафиолетовым светом, приводящая к появлению свободных электронов, вызывает снижение оптической прочности (для лазерного излучения с длиной волны 10,6 мкм).

Причиной образования свободных электронов могут быть пластическая деформация и эмиссия электронов растущей трещиной. Порог оптического пробоя деформируемых кристаллов примерно в два раза ниже порога оптического пробоя этих же кристаллов, не подвергаемых деформации [8]. Свидетельством роли свободных электронов в инициировании оптического пробоя в твердых прозрачных материалах, имеющих высокую оптическую прочность, является экспериментально фиксируемый оптический пробой при распространении лазерного излучения вдоль поверхности деформируемого кристалла [8]. Таким образом, во время роста трещин предельная оптическая прочность определяется наличием свободных электронов, образующихся на поверхностях трещин.

Хотя экспериментально снижение порога оптического пробоя у поверхности деформируемого материала наблюдали на щелочно-галогидных кристаллах, эта закономерность должна соблюдаться практически для всех твердых прозрачных диэлектриков. Действительно, причиной снижения лазерной прочности является наличие свободных электронов, а свободные электроны образуются при разрушении примерно половины из числа известных твердых тел. Электрические разряды между берегами растущих трещин отмечены в полупроводниках [13], щелочно-галогидных кристаллах [14, 15], пьезо-, пиро-, ферро-, сегнетоэлектриках [2].

Снижение оптического пробоя, вызванное эмиссией электронов, может наблюдаться не только при образовании трещин, но и под действием пластической деформации. Интенсивная эмиссия электронов, вспышки люминесценции наблюдаются при деформировании материала [16].

Снижение порога оптического пробоя за счет поглощения излучения свободными электронами не ограничивается временем роста трещины. Свободные электроны (образовавшиеся вследствие роста трещины и сопутствующей пластической деформации) могут сохраняться в течение часов и даже дней [17]. Однако для большинства прозрачных материалов, находящихся в нормальных условиях, свободные электроны могут заметно влиять на лучевую прочность материала в течение ≈ 100 с после прекращения деформации.

Для материалов, имеющих порог оптического пробоя порядка 10^{11} Вт/см² и выше, лазерная прочность заметно снижается (до 6 раз) при появлении в зоне облучения «затравочных электронов» [7]. На материалах с порогом оптического пробоя порядка 10^6 Вт/см² и ниже, облучаемых излучением допороговой интенсивности, единичные электроны не оказывают заметного влияния на лазерную прочность. Для таких материалов предельная оптическая прочность, как правило, лимитируется поглощающими включениями. Оптический пробой будет инициироваться за счет нагрева лазерным излучением поглощающих включений, а появляющиеся трещины и свободные электроны оказывают влияние на следующие стадии развития оптического пробоя и механического разрушения.

Наибольшая плотность зарядов соответствует времени распространения трещины. Динамическая плотность зарядов может быть на несколько порядков больше величины остаточных зарядов и достигать $\sim 10^3$ – 10^4 мкКл/м², что соответствует концентрации электронов 10^{11} – 10^{12} на 1 см⁻² [18].

Таким образом, в первый период существования трещины доминирующим фактором, определяющим предельную величину оптической прочности, является эмиссия электронов, образующихся при росте трещины и сопровождающей ее пластической деформации.

Время, в течение которого свободные электроны оказывают влияние на лазерную прочность, зависит от свойств материала и окружающей среды.

Вклад свободных электронов в снижение оптической прочности прозрачного материала зависит от оптического совершенства материала. Чем выше порог оптического пробоя в отсутствие свободных электронов, тем значительнее снижение оптической прочности при их появлении.

В данной работе образцы облучали примерно через 5 мин после введения макротрещины, когда практически завершаются эмиссия электронов и релаксация высоких механических напряжений. В то же время эффект старения поверхностей трещины (например, за счет попадания загрязняющих веществ, химических реакций на поверхности) не сказывался на оптической прочности [5]. Этому периоду соответствует наибольшая величина оптической прочно-

сти, когда вклад трещины в снижение оптической прочности минимален и обусловлен интерференционными явлениями.

К настоящему времени предложен ряд механизмов, ответственных за снижение оптической прочности прозрачных материалов с трещинами и порами [12].

В данной работе экспериментально показано влияние одной макроскопической трещины на картину распределения интенсивности излучения.

На рис. 3 показаны характерные картины зон повреждения кристаллов кальцита с макроскопической трещиной.

Лунка выжженного материала вытянута вдоль трещины. Причина такой формы заключается в следующем:

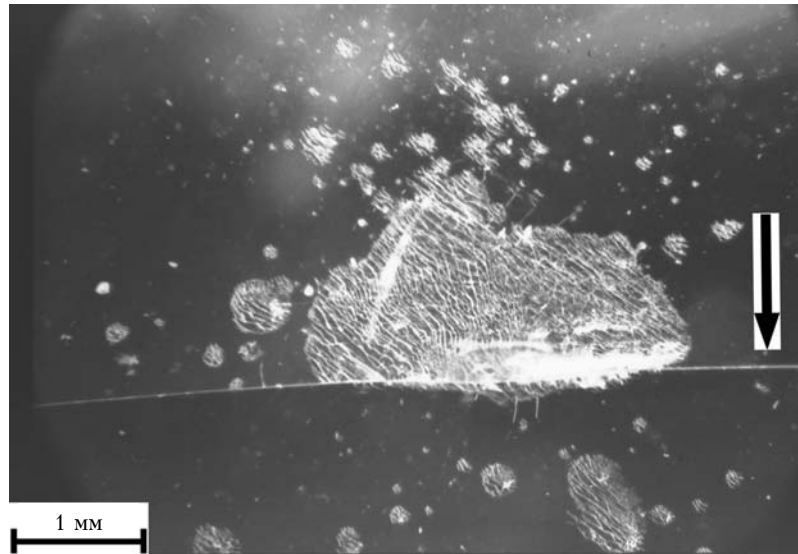
1. Двойное лучепреломление. Из-за двойного лучепреломления происходит разделение света на обыкновенный и необыкновенный лучи. В зависимости от толщины образца происходит либо полное, либо частичное разделение обыкновенного и необыкновенного лучей.

2. Области повреждения вытянуты вдоль направления [010], что обусловлено отражением света от стенок трещины, в результате чего размер зоны облучения в направлении [010] остается неизменным, а в направлении [100] уменьшается (рис. 4).

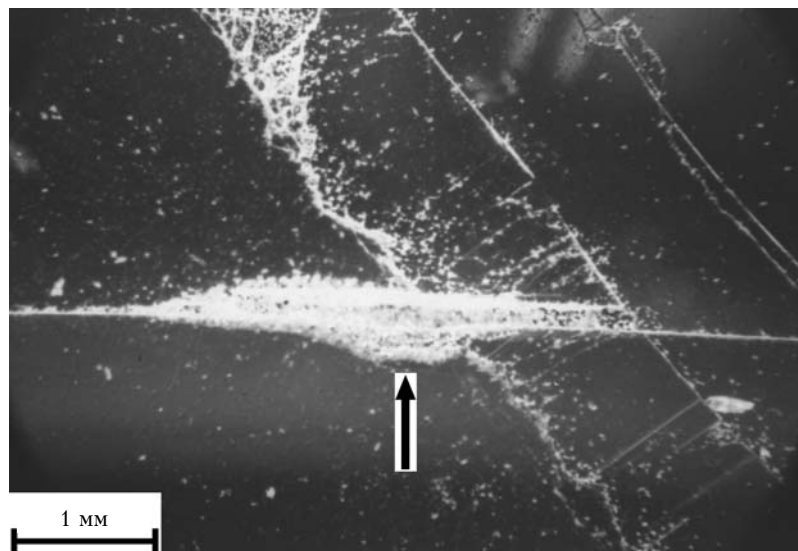
Вероятность появления повреждения на выходной поверхности прозрачного материала выше, чем на входной, и может быть примерно определена соотношением $I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}} = [2n/(n+1)]^2$, где n – коэффициент преломления, $I_{\text{вх}}$ – интенсивность света внутри среды у входной поверхности, а $I_{\text{вых}}$ – у выходной [6]. По мере прохождения излучения сквозь кальцит интенсивность излучения падает вследствие двойного лучепреломления в соответствии с законом Бугера–Ламберта–Бера для случая сильных световых полей вследствие возможных нелинейных явлений. В то же время вероятность оптического пробоя на выходной поверхности может повышаться за счет наложения света, отраженного от плоскости трещины. В результате наложения света, падающего и отраженного от плоскости трещины, возможно возникновение интерференционной картины. В местах интерференционных максимумов инициируется оптический пробой, захватывающий затем всю облучаемую область.

Зона облучения выходной поверхности, в которой возможно инициирование оптического пробоя, сильно зависит от ориентации плоскости трещины относительно направления распространения излучения.

В зависимости от угла падения излучения на трещину, толщины трещины, состояния поверхностей трещины возможны различные процессы: оптический пробой на трещине, частичное прохождение излучения сквозь трещину, распространение излучения вдоль плоскости трещины, если она ориентирована параллельно направлению излучения или под углом полного внутреннего отражения. В последнем случае следует ожидать многократного повышения плотности мощности излучения в области его выхода из кристалла. Вероятно, именно такой случай демонстрирует рис. 3, б.



a



б

Рис. 3. Выходная поверхность образца. Разрушение, вызванное оптическим пробоем на трещине, исходная трещина показана стрелкой (*a*). Разрушение на трещине, ориентированной под малым углом к направлению распространения излучения, стрелкой показана область разрушения (*б*)

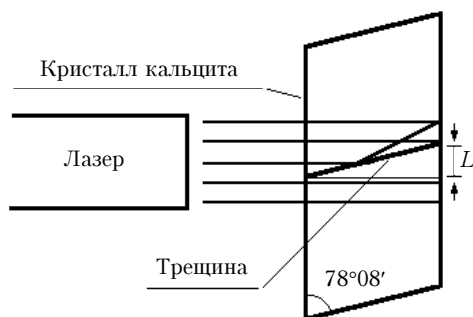


Рис. 4. Схема наложения падающего света, отраженного от выходной поверхности и от плоскости трещины. Размер зоны повреждения в направлении [100] будет меньше, чем в направлении [010], на расстояние L . Схема приведена без учета фокусировки излучения

В процессе эксплуатации оптических элементов снижается порог оптического пробоя их поверхности. Причиной снижения оптической прочности поверхности является адсорбция примесей, находящихся в атмосфере, попадание на поверхность оптических деталей пыли и т.д.

В материалах, содержащих трещины, адсорбция примесей будет проходить также и на поверхностях трещин. В работе [5] наблюдали двух-, трехкратное снижение оптической прочности (через 6 мес естественного старения) за счет адсорбции влаги в поверхностном трещиноватом слое. Адсорбция воды проходила не во всем поврежденном слое, а только в трещиноватом слое. Как правило, на поверхности начинаются процессы перекристаллизации, термического разложения материала.

Интенсивность старения зависит как от вида материала, так и от условий его хранения. Наличие в окружающей среде активных веществ, повышение температуры приводят к увеличению интенсивности процессов старения. В наших экспериментах мы наблюдали снижение лучевой прочности поверхности монокристаллов NaCl, KCl, CaCO₃, а на термически обработанных кристаллах CaCO₃ с макроскопической трещиной отмечали десятикратное снижение оптической прочности.

Таким образом, в третий период существования трещины предельная оптическая прочность материала определяется влиянием загрязнения и увеличением коэффициента поглощения поверхностей трещин вследствие их контакта с окружающей средой.

Поля напряжений и дефектная структура вершины трещины в образце, подвергаемом воздействию электромагнитного излучения

В вершине свежей макроскопической трещины, залегающей в плоскости спайности, обычно присутствуют поля механических напряжений. В окрестности вершины трещины для образцов, способных деформироваться за счет трансляционного скольжения, повышена плотность дислокаций.

Подобные неоднородности структуры и свойств ЦГК, подвергнутые воздействию мощного электромагнитного излучения, могут более или менее эффективно поглощать энергию излучения, эволюционировать, приводя к снижению оптической и механической прочности материала.

В зависимости от интенсивности, продолжительности излучения и его спектрального состава возможно протекание процессов релаксации механических напряжений. В определенных условиях возможны аннигиляция некоторых дефектов и частичное залечивание макроскопических дефектов. К настоящему времени изучено влияние электромагнитного излучения инфракрасного, видимого диапазона, ультрафиолетового излучения и малых доз рентгеновского излучения на процессы залечивания трещин в ЦГК; изменение полей напряжений, интегральной плотности дислокаций у вершины трещины; длины лучей в дислокационной розетке у вершины трещин; длины залеченного участка трещины. Воздействие на ЦГК излучения видимого диапазона, а также малых доз ионизирующего излучения УФ- и рентгеновского диапазона длин волн вызывает уменьшение интегральной плотности дислокаций в вершине трещины (асимметричного скола), длины дислокационных лучей. Зависимости изменения числа дислокаций у вершин трещин от времени воздействия излучения носят экспоненциальный характер. Обратимое движение дислокаций в лучах дислокационной розетки трещины объясняет ее пластическое закрытие. Интенсивность залечивания и релаксации напряжений зависит от спектрального состава излучения и его интенсивности [19].

Следовательно, необходимо дополнить известный механизм лазерного упрочнения оптических материа-

лов, проявляющийся в облучении образца излучением допороговой интенсивности. В результате такого облучения, помимо выгорания малых поглощающих включений, возможны релаксация механических напряжений, уменьшение структурных неоднородностей. Таким образом, обработка оптических элементов излучением допороговой интенсивности может приводить к увеличению их оптической и механической прочности.

Выводы

1. Доминирующей причиной активации роста исходной макротрещины в ЦГК и кальците при импульсном лазерном облучении является нагрев поглощающих включений, расположенных в объеме материала. Вероятность активации роста исходной трещины зависит от величины термических напряжений, возникающих на поглощающих включениях, и от места расположения поглощающих включений относительно вершины трещины. Исходная макроскопическая трещина оказывает дестабилизирующее воздействие на лазерно-индуцированные дефекты, возникающие в объеме материала, обеспечивает высокую вероятность их объединения с ней и друг с другом, что способствует механическому разрушению кристалла.

2. В первый период существования трещины доминирующими факторами снижения оптической и механической прочности являются эмиссия электронов и электрические явления на трещине. Во второй период вклад трещины (продолжительность которого зависит от материала и окружающей среды) в уменьшение оптической прочности облучаемых образцов определяется интерференционными явлениями на трещине. В третий период существования трещина способствует снижению оптической прочности образца за счет влияния загрязнения и увеличения коэффициента поглощения поверхностей трещин вследствие их контакта с окружающей средой.

3. Вероятность оптического пробоя на макроскопической трещине зависит от ориентации трещины по отношению к направлению распространения излучения. Пороговая плотность мощности лазерного излучения может многократно понижаться за счет перераспределения интенсивности лазерного излучения.

4. Воздействие излучения допороговой интенсивности на кристалл, содержащий трещины, способствует релаксации механических напряжений, уменьшению плотности дислокаций и частичному залечиванию дефектов, что приводит к возрастанию механической и оптической прочности материала.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 05-01-00215.

1. Корнфельд М.И. Электризация ионного кристалла при пластической деформации и расщеплении // Успехи физ. наук. 1975. Т. 116. Вып. 2. С. 327–339.
2. Тялин Ю.И. Механоэлектрические явления при разрушении неметаллических кристаллов: Дис. ... канд ф.-м. наук. Тамбов, 1991. 153 с.
3. Гилман Дж.Дж. Скол, пластичность и вязкость кристаллов // Атомный механизм разрушения. М.: Металлургия, 1963. С. 220–250.

4. Бебчук А.С., Громов Д.А., Нечитайло В.С. Мера дефектности поверхности и оптическая прочность прозрачных диэлектриков // Квант. электрон. 1976. Т. 3. № 8. С. 1814–1816.
5. Билибин С.В., Егоров В.Н., Кацнельсон А.А., Ковалев В.И., Колесова Н.С., Сидоров Ю.С., Ткаченко Н.Л., Файзуллоев Ф.С. Влияние параметров оптической обработки и процесса естественного старения на глубину нарушенного слоя и лучевую прочность поверхности монокристаллов KCl // Квант. электрон. 1982. Т. 9. № 9. С. 1912–1915.
6. Glass A.J., Guenther A.H. Laser Induced Damage of Optical Elements – a Status Report // Appl. Opt. 1973. V. 12. N 4. P. 637–649.
7. Горшков Б.Г., Данилейко Ю.К., Маненков А.А., Прохоров А.М., Сидорин А.В. Размерный эффект и статистика лазерного разрушения ШГК на $\lambda = 10,6$ мкм // Квант. электрон. 1981. Т. 8. № 1. С. 148–154.
8. Смирнов В.Н. Снижение порога оптического пробоя вблизи поверхности пластически деформируемого кристалла // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. Вып. 4. С. 316–321.
9. Бужинский И.М., Поздняков А.Е., Ушаков С.А. Зависимость порога разрушения стекла Ф-8 от длительности облучения поверхности // Оптико-механич. промышленность. 1973. № 5. С. 69–70.
10. Федоров В.А., Ушаков И.В., Шелохвостов В.П., Толстова М.А. Морфология повреждений монокристаллов кальцита при оптическом пробое в широком интервале температур // Вест. Тамбов. гос. ун-та. Сер. Естеств. и техн. н. 1997. Т. 2. № 3. С. 286–290.
11. Мирзоев Ф.Х., Панченко В.Я., Шелепин Л.А. Лазерное управление процессами в твердом теле // Успехи физ. наук. 1996. Т. 166. Вып. 1. С. 3–23.
12. Бломберген Н. Электрический пробой в твердых телах под действием лазерного излучения // Квант. электрон. 1974. Т. 1. № 4. С. 786–805.
13. Meyer K., Obrikat D., Rossberg M. Progress in triboluminescence of alkali halides and doped zink sulphides (II) // Krist. und Techn. 1970. B. 5. N 2. S. 181–205.
14. Боев С.Г., Фурса Т.В. О механизме электризации монокристаллов лития при раскалывании // Физ. тверд. тела. 1986. Т. 28. № 7. С. 2177–2180.
15. Финкель В.М., Головин Ю.И., Середа В.Е., Куликова Г.П., Зуев Л.Б. Электрические эффекты при разрушении кристаллов LiF в связи с проблемой управления трещиной // Физ. тверд. тела. 1975. Т. 17. № 3. С. 770–776.
16. Маркова-Осоргина И.А., Сенчуков Ф.Д., Шмурак С.З. Деформационная люминисценция кристаллов KCl–Ag // Физ. тверд. тела. 1972. Т. 14. № 5. С. 1441–1443.
17. Zakrevskii V.A., Shuldiner A.V. Electron emission and luminescence owing to plastic deformation of ionic crystals // Philosoph. Magazine B. 1995. V. 71. N 2. P. 127–138.
18. Дерягин Б.В., Мецик М.С. Адгезия твердых тел. М.: Наука, 1973. 297 с.
19. Чиванов А.В. Залечивание трещин в ШГК воздействием малых доз ионизирующего излучения: Дис. ... канд. ф.-м. наук. Тамбов, 2004. 160 с.

I. V. Ushakov. Influence of macroscopic cracks on optical strength of solid transparent dielectrics.

Pulse laser radiation impact on dielectrics with macroscopic cracks has been studied. Mechanisms of the crack influence on the dielectric optical and mechanical strength were determined. The dependence of the optical strength on the crack timelife is under discussion. It is shown that the optical and mechanical strength of a sample with cracks can be augmented under impact of radiation of the pre-threshold intensity.