

С.Г. Казанцев

ЛАЗЕРНЫЙ ОТЖИГ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОХОДНОЙ ОПТИКИ ШИРОКОАПЕРТУРНЫХ СО₂-ЛАЗЕРОВ

Установлено, что в интегральных спектрах при последовательном воздействии 5–6 импульсов с плотностью энергии $\leq 2\text{--}3 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$ с интервалом не более 15–20 мин интенсивность линии Н_α снижается, что сопровождается увеличением значений порога повреждения поверхности и снижением вероятности повреждения при допороговых интенсивностях лазерного излучения. Эффект сохраняется в течение 1–3 ч после облучения ЦГК, при этом срок службы оптических элементов из КСl увеличивается в среднем втрое.

Повреждение поверхности оптических элементов широкоапертурных импульсных СО₂-лазеров обычно достигается при более низких значениях интенсивности лазерного излучения по отношению к порогам возникновения разрушений в объеме материала. Поэтому определенный интерес представляют исследования эффектов, позволяющих повысить стойкость поверхности элементов проходной оптики к лазерному воздействию.

К настоящему времени предложено несколько физических механизмов инициирования разрушения поверхности импульсным лазерным излучением. В [1–5] доказывается определяющая роль нагрева поглощающих включений, в [6] высказано предположение, что снижение порогов пробоя происходит из-за наличия физических дефектов на поверхности, на которых происходит концентрация силовых линий, вызывающая значительное повышение напряженности поля световой волны в окрестности дефекта. В [7] установлено влияние величины шероховатости поверхности s на изменение электрического поля пробоя поверхности E_{th} и предложено эмпирическое соотношение $E_{th} \sim s^{-m}$, где $0,5 < m < 0,75$.

Перечисленные механизмы удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными в видимом диапазоне спектра. Однако имеется ряд фактов (отсутствие размерной зависимости порога пробоя на поверхности; повышение порога пробоя с уменьшением поверхностного поглощения; понижение порога пробоя в среднем ИК-диапазоне спектра с увеличением длины волны как λ^{-2}), которые не могут быть объяснены в рамках этих моделей, но это станет возможным, если будем считать, что определяющую роль в возникновении лазерного пробоя играет адсорбированная на поверхности вода [8, 9]. На основе этих положений был объяснен «эффект лазерной очистки», заключающийся в повышении порога пробоя при многократном повторном облучении одного и того же участка поверхности. Однако технологических приемов для использования этого эффекта предложено не было. Кроме того, более поздними исследованиями установлено [5], что в образовании повреждений поверхности можно выделить два этапа – инициирование плазмы пробоя и растрескивание поверхности при нагреве ее УФ-излучением плазмы.

Для разработки способа повышения порогов пробоя поверхности оптических элементов регистрировались обзорные интегральные во времени спектры испускания плазменных образований. В качестве источника излучения использовался ТЕА СО₂-лазер с длительностью импульса ~ 40 мкс. Плотность энергии лазерного излучения варьировалась в пределах $1\text{--}20 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$, площадь пятна в плоскости облучаемого кристалла составляла $\sim 100 \text{ см}^2$.

Установлено, что многократное воздействие одиночных импульсов с плотностью энергии $W \leq 2\text{--}3 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$ приводит не только к увеличению значений порога повреждения поверхности, но и к значительному снижению вероятности повреждения P при допороговых интенсивностях лазерного излучения (рис. 1).

Эффект повышения порога повреждения сохраняется в течение 1–3 ч после облучения ЦГК, при этом он наиболее выражен при интервале между импульсами не более 15–20 мин.

Для построения зависимостей вероятностей повреждения были использованы данные по стойкости 89 оптических элементов. Значения порогов возникновения плазменных образований составили $\sim 3\text{--}6 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$.

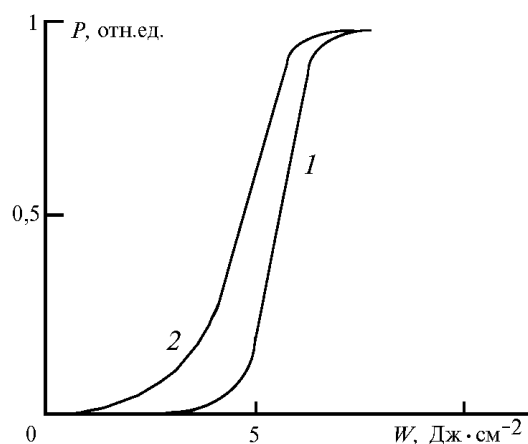


Рис. 1. Зависимости вероятностей повреждения поверхности оптических элементов из KCl с предварительным лазерным облучением (1) и без него (2)

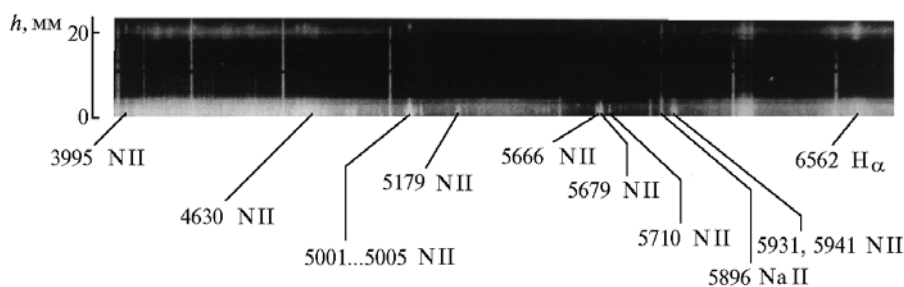


Рис. 2. Интегральная спектрограмма плазмы пробоя вблизи поверхности монокристалла NaCl и в надфакельной области

Исследования интегральных спектров свечения плазменных образований свидетельствуют, что наиболее интенсивными являются уширенные линии компонентов воздуха, в основном $N II$, линии излучения атомов материала оптического элемента и линия H_{α} (656,28 нм) (рис. 2), причем интенсивность последней снижается при последовательном воздействии первых 5–6 из серии импульсов, имеющих близкие значения плотности энергии (рис. 3).

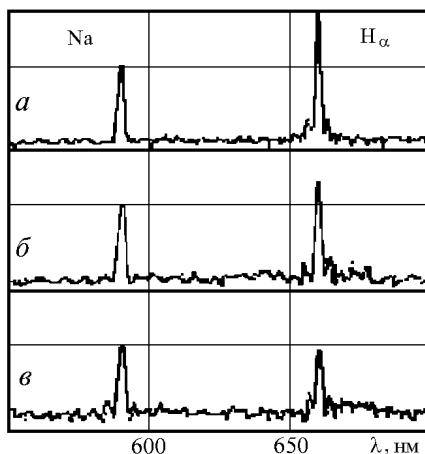


Рис. 3. Регистрограммы интегрального спектра плазмы пробоя вблизи поверхности монокристалла NaCl при последовательном воздействии импульсов с $W = 6$ (а); 6,2 (б); 5,6 Дж·см⁻² (в)

Очевидно, что наблюдается «эффект лазерной очистки» от адсорбентов (и прежде всего воды), подобный исследованному в [8].

В спектрах локальных пробоев в надфакельной области наблюдаются в основном линии компонентов воздуха (см. рис. 2).

Оптический пробой, помимо интенсивного УФ-облучения, вызывает появление ударной волны, распространяющейся во всех направлениях, в том числе и в сторону поверхности кристалла. Оценка яркостной температуры показала, что температура плазмы достигает 5–20 тыс. К. По-видимому, наблюдаемый «эффект лазерной очистки» сопровождается комплексным воздействием лазерного и ультрафиолетового излучения, а также тепловым и ударным воздействиями, при непосредственном контакте плазменного факела, вызывающем возгонку и унос от поверхности адсорбентов.

Ресурсные испытания показали, что срок службы предварительно облученных оптических элементов из KCl повышается в среднем втрое.

1. Бахарев М.С., Миркин Л.И., Шестериков С.А. и др. Структура и прочность материалов при лазерных воздействиях. М.: МГУ, 1988. 224 с.
2. Данилейко Ю.К., Маненков А.А., Нечитайло В.С. // Квантовая электроника. 1978. Т. 5. N 1. С. 194–195.
3. Норрер R. W., Uhlman D. R. // Appl. Phys. 1970. V. 41. N 10. P. 4023–4037.
4. Смирнов В. Н. // ЖТФ. 1987. Т. 57. N 3. С. 523–530.
5. Наумова Н.Н., Пухов А.М., Смирнов В.Н. // ОМП. Т. 9. С. 15–17.
6. Blombergen N. // Appl. Optics. 1973. V. 12. N 4. P. 661–664.
7. Glass J., Guenther A. // Appl. Optics. 1976. V. 15. N 6. P. 1510–1529.
8. Ковалев В. И. // Труды ФИАН. 1982. Т. 136. С. 51–117.
9. Allen S.D., Porteus J.O., Faith W.N. // Appl. Phys. Lett. 1982. V. 41. N 5. P. 416–418.
10. Kazantsev S.G., Kugaenko O.M. // 15-th International Conference on Coherent and Nonlinear Optics. (Abstr.) St. Petersburg: SOL, 1995. P. 104–105.

Государственный научно-исследовательский испытательный лазерный центр РФ «Радуга», г. Радужный Владимирской обл.

Поступила в редакцию
10 июня 1997 г.

S. G. Kazantsev. Laser Firing of Transmitting Optics Elements of Wide-aperture CO₂-laser.

It is found by us, that the intensity of the line H_α in integral spectra, exposed to sequential action of 5–6 laser pulses with energy density $\leq 2\text{--}3 \text{ J/cm}^2$ at $\leq 15\text{--}20$ min interval, lowers. It is attended by an increase of the surface damage threshold and decrease of the damage probability at subthreshold values of the laser radiation intensity. The effect holds from 1 to 3 hours after the exposure to alkali-halides irradiation. The service time of KCl optical elements therewith becomes on the average three times longer.