

## О ДИНАМИКЕ ТЕРМООПТИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В АКТИВНОЙ СРЕДЕ ЛАЗЕРА НА ОРГАНИЧЕСКОМ КРАСИТЕЛЕ С ЛАМПОВОЙ НАКАЧКОЙ

Е. А. Гавронская, А. В. Грозный, Д. И. Стаселько и В. Л. Стригун

Методами голографической интерферометрии исследовались термооптические неоднородности, наведенные в спиртовых и водных растворах родамина 6Ж световыми импульсами накачки микросекундной длительности. Показано, что в формировании картины оптических неоднородностей определяющая роль принадлежит процессам образования и распространения акустических волн, возникающих в кювете с раствором красителя из-за неравномерного поглощения активной средой излучения накачки.

Развитие термооптических искажений, возникающих под действием излучения ламп накачки в активной среде лазеров на растворах органических красителей (ЛРК), в значительной степени определяет энергетические и пространственные характеристики генерируемого излучения [1] и, в частности, его пространственную когерентность [2, 3]. Изучение динамики этих искажений значительно упрощается, если временная зависимость профиля термооптических искажений повторяет зависимость от времени величины поглощенной энергии накачки. В этом случае профиль термооптических искажений может быть рассчитан на основании методики, изложенной в [4]. Согласно [4], данное предположение выполняется в предельных случаях коротких ( $\tau_{\text{имп.}} \leq 1$  мкс) и длительных ( $\tau_{\text{имп.}} \geq 40$  мкс) импульсов накачки. Однако в ЛРК с ламповой накачкой упомянутые условия зачастую не удовлетворяются.

В данной работе методами голографической интерферометрии исследовались термооптические неоднородности, наведенные в спиртовых и водных растворах родамина 6Ж световыми импульсами накачки микросекундной длительности.

Цилиндрическая кварцевая кювета с исследуемым раствором длиной 120 мм и внутренним диаметром 10 мм располагалась в цилиндрическом двухламповом осветителе с диффузно отражающей поверхностью. Накачка производилась с помощью импульсных ламп типа ИФП-2000. Длительность импульса накачки по основанию 8 мкс, энергия накачки 100–150 Дж. Ультрафиолетовая область спектра излучения накачки не отфильтровывалась. В качестве растворителей родамина 6Ж использовались этиловый спирт и тяжелая вода. Диапазон изменения концентрации растворов красителя составлял 0.025–0.2 мг/см<sup>3</sup>.

Схема эксперимента приведена на рис. 1. В качестве источника излучения для записи голограмм использовался моноимпульсный одномодовый рубиновый лазер 1–5. Модуляция добротности лазера осуществлялась акустооптическим затвором 3, что позволяло задавать момент регистрации картины термооптических неоднородностей с точностью до 0.2 мкс. Длительность импульса рубинового лазера составляла 150–200 нс. Пучок излучения лазера расширялся 27-кратной телескопической системой 6 и направлялся в двухлучевой голографический интерферометр. В одно из плеч интерферометра помещалась кювета с исследуемым раствором. Плоскость среднего сечения кюветы с помощью двукратной телескопи-

ческой системы 10 проецировалось в плоскость голограммы 11, что позволило избежать искажений интерференционной картины, обусловленных дифракцией просвечивающего пучка на краях кюветы и его фокусировкой вследствие возникающих в среде оптических неоднородностей. Голо-

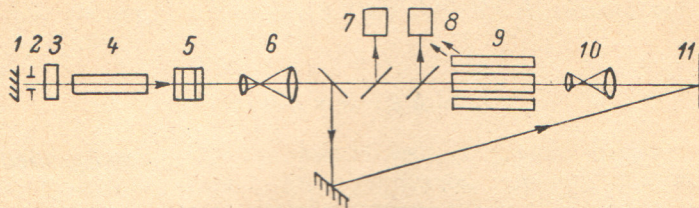


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 — плоское зеркало, 2 — диафрагма, 3 — акустооптический затвор, 4 — кристалл рубина, 5 — стопа, 6 — 27-кратный телескоп, 7 — коаксиальный фотоэлемент ФЭК-09, 8 — фотоэлектронный умножитель ФЭУ-51, 9 — кювета с красителем в ламповом осветителе, 10 — 2-кратный телескоп, 11 — голограмма.

графические интерферограммы записывались по методу двух экспозиций в полосах бесконечной и конечной ширины. Во время первой экспозиции записывалась голограмма невозмущенного раствора, вторая экспозиция производилась в заданный момент после начала импульса накачки раствора

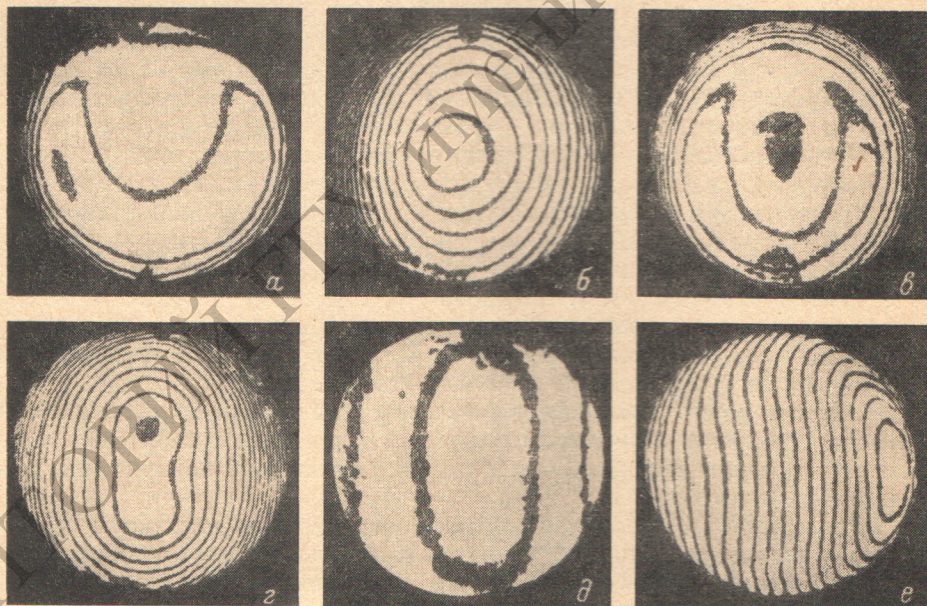


Рис. 2. Интерферограммы неоднородностей в кювете со спиртовым (а-з, е) и водным (д) растворами родамина 6Ж на различных стадиях процесса накачки.

Временной интервал от начала импульса накачки соответственно: а — 2,2, б — 4, в — 10, г — 12, д — 4, е — 2,2 мкс; а-д — полосы бесконечной ширины, е — полосы конечной ширины.

красителя в интервале 0–300 мкс. Задержка импульса генерации рубинового лазера относительно импульса накачки раствора красителя, а также форма и длительность этих импульсов регистрировались с помощью фотоумножителя ФЭУ-51 8, коаксиального фотоэлемента ФЭК-09 7 и осциллографов С8-9А и С1-31. Для получения интерферограмм в полосах конечной ширины угол схождения референтного и объектного пучков увеличивался между экспозициями на несколько минут. Голограммы регистрировались на фотопленке ФПГВ-1 и восстанавливались излучением гелий-неонового лазера.

На рис. 2 приведены фотографии типичных интерферограмм, полученных на различных стадиях развития термооптических неоднородностей — во время импульса накачки и после его окончания (концентрация красителя  $0.1 \text{ мг/см}^3$ ). Анализ интерферограмм в полосах бесконечной ширины показал, что с увеличением концентрации красителя число интерференционных полос возрастает, а картина термооптических искажений в спиртовых и водных растворах красителя близка к симметричной относительно оси кюветы. Наибольшее число наблюдавшихся на интерферограммах полос составляло в случае спиртовых растворов  $10 \div 15$ , а в случае водных около двух.<sup>1</sup> Упомянутые особенности картины термооптических неоднородностей качественно согласуются с результатами [1, 4]. Вместе с тем обнаружено, что поглощение излучения накачки растворителем вносит заметный вклад в величину термооптических искажений. Так, для чистого спирта число полос достигало  $3 \div 4$ , для тяжелой воды — менее одной полосы, что составляло около  $1/3$  от общей величины искажений.

Последующая совместная обработка интерферограмм в полосах бесконечной и конечной ширины позволила определить абсолютное значение и знак изменения показателя преломления растворов красителя по поперечному сечению кюветы  $\Delta n(r)$  относительно ее оси. Малое число наблюдаемых интерференционных полос в водных растворах красителя существенно ограничивало возможности обработки интерферограмм, поэтому особенности динамики развития термооптических неоднородностей изучались главным образом на примере спиртовых растворов.

Оказалось, что профиль термооптических искажений меняется во времени сложным образом как в течение импульса накачки, так и после его окончания (рис. 3). При этом в интервале  $1 \div 2.5$  мкс после начала действия импульса накачки, когда активной средой поглощалось около 50% его энергии, абсолютное значение  $|\Delta n(r)|$  не превосходило  $1 \cdot 10^{-5}$ , а распределение изменения показателя преломления по сечению кюветы имело несколько экстремумов (рис. 3, а). Затем в течение примерно 2 мкс происходило изменение профиля неоднородности, которая становилась подобной положительной линзе с фокусным расстоянием  $2 \div 2.5$  м, при этом наибольшее значение  $|\Delta n(r)|$  возрастало от  $1 \cdot 10^{-5}$  до  $8 \cdot 10^{-5}$  (рис. 3, б), хотя в течение данного временного интервала поглощалось не более 20% энергии излучения импульса накачки. В дальнейшем значения  $|\Delta n(r)|$  начинали убывать и к концу импульса накачки возникало распределение  $\Delta n(r)$ , сходное с распределением на ранней стадии накачки (рис. 3, в), после чего в кювете снова создавалась положительная линза (рис. 3, г).

Описанный процесс развития термооптической неоднородности в дальнейшем повторялся в течение всего исследованного интервала с периодом около 8 мкс, соответствующим времени распространения звука поперек

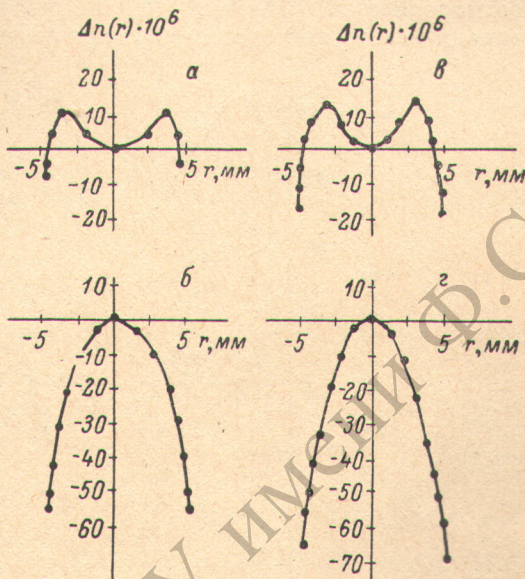


Рис. 3. Профиль изменения показателя преломления раствора  $\Delta n$  по радиусу кюветы  $r$ . Временной интервал от начала импульса накачки соответственно: а — 2,2, б — 4, в — 10, г — 12 мкс.

<sup>1</sup> Малость термооптических искажений в водных растворах красителя представляет интерес с точки зрения улучшения пространственных характеристик излучения ЛРК [3, 4].

кюветы. На рис. 4 представлен временной ход изменения показателя преломления  $\Delta n(t)$  для точек поперечного сечения кюветы, расположенных на различных расстояниях от оси (кривые 1—3). Видно, что для всех точек сечения зависимость  $\Delta n(t)$  качественно отличалась от временного хода поглощенной раствором энергии (кривая 5). Вместо монотонного нарастания имели место резкие осцилляции  $\Delta n(t)$ , причем эти осцилляции для точек, удаленных от края кюветы, сопровождались изменением знака величины  $\Delta n$ .

Из наблюдаемого факта резкого изменения характера термооптических неоднородностей в течение времени действия импульса накачки, а также периодического повторения картины неоднородностей после его окончания

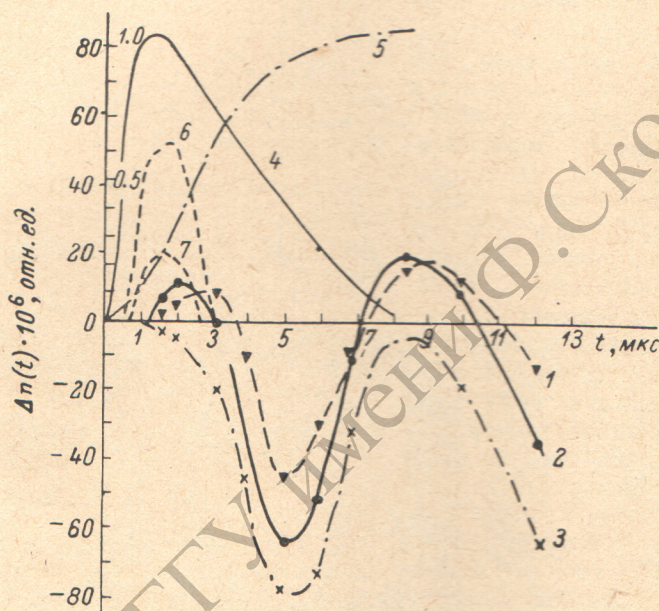


Рис. 4. Временной ход изменения показателя преломления  $\Delta n$  для точек, удаленных от оси кюветы на расстояние  $r$ .

$r$ , мм: 1 — 2.5, 2 — 3.8, 3 — 4.9; 4 — световой импульс ламп накачки; 5 — временной ход поглощенной раствором энергии; 6, 7 — импульсы генерации раствора красителя.

можно заключить, что в формировании неоднородностей определяющая роль принадлежала процессам образования и распространения акустических волн, возникающих в кювете с раствором красителя из-за неравномерного поглощения активной средой излучения накачки.<sup>2</sup> Сохранение значительных акустических возмущений в растворе в течение интервала  $\sim 300$  мкс не соответствует оценке времени выравнивания давления в кювете ( $\sim 40$  мкс), которое, согласно [4], определяется временем распространения звука от центра кюветы до свободной поверхности жидкости. Слабое затухание возмущений, по-видимому, объясняется высокой добротностью акустических колебаний в резонаторе, образованном стенками кюветы, коэффициент отражения которых для звука на границе кварц—воздух превосходит 99% [6].

В заключение остановимся на результатах экспериментов, в которых кювета с раствором красителя помещалась в оптический резонатор длиной 57 см, образованный плоскими диэлектрическими зеркалами с коэффициентом отражения 88 и 70% на длине волны 0.59 мкм. При этом одновременно

<sup>2</sup> Возникновение и распространение акустических волн при лазерной накачке растворов красителя импульсами наносекундной длительности наблюдалось также в работе [5].

регистрировались импульсы накачки и генерации, распределение интенсивности на торце ЛРК, а также расходимость излучения лазера. Область генерации на торце имела форму кольца, расположенного по краю кюветы, что свидетельствовало о неоднородном распределении поглощенного излучения накачки в поперечном сечении кюветы.

Из сопоставления полученных данных о расходимости излучения с временным ходом термооптических деформаций на краю кюветы (кривая 3 на рис. 4) следует, что с увеличением длительности импульса генерации (кривые 7, 6), когда все большая его часть приходилась на интервал заметного развития неоднородностей, расходимость излучения ЛРК значительно возрастала, причем срыв генерации происходил на участке резкого роста величины термооптических искажений в кювете.

Таким образом, проведенное исследование показало, что возникновение акустических волн в растворах красителей существенно влияет на генерационные характеристики ЛРК с ламповой накачкой микросекундной длительности и должно учитываться при анализе работы таких лазеров.

Авторы выражают благодарность В. З. Брыскину за помощь в эксперименте и А. Г. Смирнову за полезные обсуждения.

#### Литература

- [1] А. Н. Рубинов, Т. И. Смольская, С. С. Ануфрик. Ж. прикл. спектр., 16, 802, 1972.
- [2] Д. И. Стаселько, В. Л. Стригун. Опт. и спектр., 39, 170, 1975.
- [3] А. В. Аристов, Д. А. Козловский, Д. И. Стаселько, В. Л. Стригун, А. С. Черкасов. Опт. и спектр., 41, 674, 1976.
- [4] Т. И. Смольская, А. Н. Рубинов. Ж. прикл. спектр., 16, 618, 1972.
- [5] А. М. Бонч-Бруевич, Т. К. Разумова, И. О. Старобогатов. Письма ЖТФ, 1, 65, 1975.
- [6] О. И. Бабинов. Ультразвук и его применение в промышленности, 36. ГИФМЛ, М., 1958.

Поступило в Редакцию 30 декабря 1975 г.