

УДК 621.373 : 535

О ЗАПИСИ ИЗОБРАЗИТЕЛЬНЫХ ГОЛОГРАММ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРА НА РАСТВОРАХ КРАСИТЕЛЕЙ

*Аристов А. В., Ворзובה Н. Д., Козловский Д. А.,
Левин М. Б., Стаселько Д. И., Стригун В. Л.,
Черкасов А. С.*

Исследована возможность применения лазера на растворах красителей с ламповым возбуждением для целей голографии. Сделан выбор фотоматериалов и режима их химико-фотографической обработки, позволяющий оптимизировать качество голограмм. Показано, что использование в лазере водно-мицеллярного раствора красителя с добавкой циклооктатетраена позволяет получать импульсы высококогерентного излучения с энергией, достаточной для записи изобразительных голограмм объектов размером до 10 см.

Использование лазеров на красителях с перестройкой частоты излучения для записи импульсных цветных изобразительных голограмм представляет значительный практический интерес, поскольку позволяет оптимизировать воспроизведение цветов объекта восстановленным изображением, а также свести к минимуму масштабные искажения, связанные с различием длин волн источников излучения при записи и восстановлении голограмм [1].

В [2] было получено существенное повышение степени пространственной когерентности излучения лазеров на растворах красителей с ламповой накачкой при замене этанольных растворов родамина 6Ж на водно-мицеллярные (ВМР). Исследования, приведенные в [3], показали, что главная причина повышения степени пространственной когерентности состоит в ослаблении наводимых импульсной накачкой акустооптических искажений в ВМР по сравнению с этанолом.

Применение неустойчивого резонатора в таких лазерах привело к достижению практически 100 % степени пространственной когерентности в пределах сечения генерируемого пучка [4]. В [5] приведены сведения о записи голограмм небольших тест-объектов в условиях значительного сужения спектра излучения жидкостных лазеров. Таким образом, в названных публикациях была показана возможность создания источника высококогерентного излучения на ВМР красителей с ламповой накачкой микросекундной длительности. Однако сравнительно малая выходная энергия излучения не позволяет голографировать объекты размером свыше 2—3 см.

Целью данной работы было изучение возможности записи изобразительных голограмм объектов размерами ≈ 10 см путем повышения энергии генерации и оптимизации условий работы лазера на красителе, выбора фотоматериала, а также режима химико-фотографической обработки голограмм.

Экспериментальная установка включала лазер с ламповым осветителем, аналогичным [3], обеспечивавшим подавление акусто- и термооптических возмущений активной среды, наводимых накачкой и, оптическую схему записи голограмм. Селекция поперечных типов колебаний лазера осуществлялась неустойчивым резонатором с увеличением $M \approx 2$. В качестве глухого использовалось выпуклое зеркало радиусом 6 м, выходным зеркалом служил интерферометр Фабри—Перо с базой 40 мкм и коэффициентами отражения пластин 32 %. Для дополнительной селекции продольных типов колебаний наклонно к оси резонатора устанавливался второй интерферометр с такой же базой и

отражением зеркал 10 % и под углом Брюстера — десятиступенчатый интерференционно-поляризационный фильтр [6]. В качестве активной среды лазера использовались ВМР родамина 6Ж в тяжелой воде (концентрация красителя $2 \cdot 10^{-5}$ моль/л, додецилсульфата натрия $2 \cdot 10^{-2}$ моль/л). Согласно [7], для увеличения выходной энергии лазера в растворы добавлялся циклооктатетраен в концентрации $2 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

Энергия генерации достигала 30 мДж при длительности импульса 10 мкс по основанию. В этих же условиях возбуждения генерация растворов родамина 6Ж в ВМР без циклооктатетраена и в этаноле не наблюдалась. В спектре излучения лазера помимо основной линии (580 нм) шириной 0.04 нм присутствовало несколько сателлитов с относительной интенсивностью, не превышавшей 0.05. Измерения, проведенные с помощью голографического когерометра [8], показали, что функция пространственной когерентности близка к единице по всему сечению торца лазера ($|\gamma(r_1, r_2)| \geq 0.9$). Таким образом, введение в ВМР циклооктатетраена не приводило к ухудшению когерентных свойств генерируемого излучения при значительном увеличении эффективности генерации.

Картина поля излучения лазера в ближней зоне характеризовалась заметной неравномерностью распределения интенсивности по сечению пучка, существенно зависевшей от исходного состояния активной среды лазера. Наилучшая однородность излучения (отклонение от среднего значения 30 %) наблюдалась в первой вспышке лазера после длительного (более 1 ч) отстаивания раствора красителя, что, по-видимому, связано с большой инерционностью процесса установления температурного равновесия по всему объему кюветы.

Ввиду отсутствия в литературе сведений о характеристиках фотоматериалов при записи голограмм импульсами излучения микросекундной длительности в желтой области спектра было проведено исследование параметров ряда отечественных фотоматериалов. Голограммы записывались по схеме Ю. Н. Денисюка на фотопластинках ПЭ-2 лабораторного и заводского изготовления, а также серийных пластинках типов ЛОИ-2 (630) и ФПР. Для повышения чувствительности в желтой области спектра фотоматериалы подвергались гиперсенсibilизации в растворе триэтанолamina концентрацией 2—10 %, а также в некоторых случаях обрабатывались перед экспонированием в растворах красителей № 2943 и родамина Б. Оптимальные условия проявления пластинок после экспонирования находились при сравнении результатов обработки в различных проявителях: ГП2 (ЛОИ-2 и ПЭ-2), ГП8 (ПЭ-2), Д-94 и Д-19. В ряде случаев в состав проявителя вводились растворители галоидного серебра. В зависимости от типа проявителя время обработки менялось от 3 до 20 мин. Отбеливание пластинок проводилось с использованием железосинеродистого калия, хлорной меди, а также отбеливатели Филлиса [9, 10].

Исследования показали, что наиболее чувствительным материалом являются фотопластинки ЛОИ-2 серийного производства. Предварительная обработка пластинок в растворах красителей и триэтанолamine позволила в 2—3 раза повысить чувствительность и дифракционную эффективность (ДЭ) голограмм по сравнению с их исходными значениями. В результате величины ДЭ голограмм достигали 15 % при экспозиции $5 \cdot 10^{-5}$ Дж/см².

Достигнутая чувствительность пластинок ЛОИ-2 позволила с помощью лазера на красителе записывать голограммы объектов диаметром до 10 см. В качестве последних использовались различные предметы приблизительно таких размеров с глубиной от 1 до 10 мм, выполненные из металла, фарфора, мрамора и других материалов, обладающих разной отражательной способностью и характером рассеяния.

Качество восстановленных изображений в условиях экспонирования после длительного выстаивания активного раствора лазера было удовлетворительным, а яркость восстановленных изображений достаточно равномерной по всей площади голограммы. В противном случае на голограмме появлялись темные полосы и пятна, обусловленные неравномерной структурой лазерного пучка. Как показали дополнительные эксперименты, при изменении интенсивности излучения по сечению пучка в пределах двух раз относительно оптимального значения неравномерность яркости по полю голограммы оценивалась наблю-

дателями как приемлемая, а при перепадах интенсивности по сечению пучка до 5—10 раз изображение в наименее освещенных областях голограммы практически исчезало. Отбеливание голограмм несколько уменьшало неравномерность яркости изображения, однако не устраняло ее полностью.

Таким образом, в результате проведенной работы с помощью лазера на растворах красителя были записаны эффективные голограммы предметов диаметром до 10 см с дифракционной эффективностью, достаточной для удовлетворительного зрительного восприятия. Даны рекомендации по выбору режима работы лазера и химико-фотографической обработки голограмм.

Литература

- [1] Стаселько Д. И. — В кн.: Оптическая голография и ее применение. Л., 1985.
- [2] Аристов А. В., Козловский Д. А., Стаселько Д. И., Стригун В. Л., Черкасов А. С. — Опт. и спектр., 1976, т. 41, в. 4, с. 674—677.
- [3] Аристов А. В., Козловский Д. А., Стаселько Д. И., Стригун В. Л. — Опт. и спектр., 1978, т. 45, в. 4, с. 766—772.
- [4] Аристов А. В., Козловский Д. А., Стаселько Д. И., Стригун В. Л. — Опт. и спектр., 1977, т. 43, в. 4, с. 801—802.
- [5] Аристов А. В., Иоффе С. Б., Козловский Д. А., Кузнецов Б. В., Маслюков Ю. С. — ОМП, 1981, № 10, с. 58—59.
- [6] Иоффе С. Б., Кузнецов Б. В., Калинин А. Г., Андреев Р. Б. — ЖТФ, 1979, т. 49, № 7, с. 1571—1572.
- [7] Левин М. Б., Черкасов А. С., Тодрес Э. В. — Квант. электрон., 1986.
- [8] Кузин В. А., Стаселько Д. И., Стригун В. Л. — ОМП, 1979, № 2, с. 57—59.
- [9] Кириллов Н. И. — В кн.: Регистрирующие среды для голографии. Л., 1975, с. 10—20.
- [10] Phillips N. J., Porstér D. — J. Phys. Eng. Sci. Instrum., 1976, v. 9, p. 631—634.

Поступило в Редакцию 28 января 1986 г.