

ВЛИЯНИЕ ОБЕСЦВЕЧИВАНИЯ НА СВОЙСТВА ОБЪЕМНЫХ ФАЗОВЫХ ГОЛОГРАММ НА ОСНОВЕ СИЛИКАТНОГО ФОТОТЕРМОРЕФРАКТИВНОГО СТЕКЛА

© 2010 г. А. С. Златов; И. О. Чёпоров; Ю. Л. Корзинин, канд. физ.-мат. наук;
Н. В. Никоноров, доктор физ.-мат. наук

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий,
механики и оптики, Санкт-Петербург

E-mail: zlatov@oi.ifmo.ru

Исследован процесс обесцвечивания объемных фазовых голограмм на основе фототерморефрактивного (ФТР) стекла под действием второй гармоники импульсного излучения неодимового лазера. Показано, что процесс фотообесцвечивания увеличивает модуляцию показателя преломления ФТР стекла и уменьшает его поглощение в видимой области спектра.

Ключевые слова: фототерморефрактивное стекло, объемная фазовая голограмма, фотообесцвечивание.

Коды OCIS: 140.0140, 140.3290, 050.7330, 090.2900, 160.2900, 350.2770.

Поступила в редакцию 13.04.2010.

Введение

Одним из перспективных материалов для создания эффективных голограммных объемных элементов являются фототерморефрактивные стекла (ФТР) [1]. Голограммы на этих стеклах обладают высокой дифракционной эффективностью и спектрально-угловой селективностью. Высокая термическая и оптическая прочность ФТР стекол позволяет использовать такие голограммные оптические элементы в мощных лазерных системах. Кроме этого, голограммы в ФТР стекле обладают высокой химической устойчивостью и механической прочностью и в этом отношении практически не отличаются от коммерческого оптического стекла К8.

В основе записи голограмм на ФТР стеклах лежит процесс фототермоиндуцированной кристаллизации стекла [2], суть которого заключается в следующем. УФ облучение и термообработка приводят к созданию в матрице стекла центров кристаллизации в виде коллоидных частиц серебра. Последующая термообработка приводит к росту сложных нанокристаллов (NaF–AgBr) на этих центрах. В результате на-

веденного поглощения коллоидного серебра и различия в показателях преломления стекло-фазы и кристаллической фазы записывается амплитудно-фазовая голограмма. Благодаря тому что этот процесс является необратимым, отсутствует стирание изображения в процессе считывания, а также нет ограничений на время жизни объемной амплитудно-фазовой голограммы. Однако наличие широкой полосы поглощения коллоидного серебра с максимумом в области 440–460 нм, а также рассеяние на микрорекристаллической фазе ограничивают применение этого материала в видимом диапазоне спектра. В работе [3] показано, что полоса поглощения коллоидного серебра может быть уменьшена за счет облучения второй гармоникой импульсного наносекундного неодимового лазера.

В настоящей работе был исследован процесс фотообесцвечивания второй гармоникой импульсного Nd³⁺:YAG-лазера объемных фазовых голограмм, записанных в объеме ФТР стекла. Были проведены исследования свойств объемных фазовых голограмм до и после их фотообесцвечивания, и установлены изменения их основных характеристик.

Объект исследования и эксперимент

Исследовались алюмоцинковосиликатные ФТР стекла с большим содержанием фтора, активированные ионами церия, серебра и сурьмы.

Запись голограмм с пространственной частотой 1000 мм^{-1} проводилась He–Cd-лазером на длине волны 325 нм по симметричной двулучевой схеме. Термообработка образцов проводилась при $T = 520^\circ\text{C}$.

Обесцвечивание образцов проводилось импульсным Nd³⁺YAG-лазером (10 нс), работающим на второй гармонике (532 нм).

Измерялись спектр фотонаведенного поглощения в видимой области, а также контур угловой селективности и дифракционная эффективность голограммы на длине волны He–Ne-лазера 633 нм [4].

Как известно [5], зависимость дифракционной эффективности (ДЭ) пропускающих трехмерных фазовых голограмм от амплитуды модуляции показателя преломления носит осциллирующий характер – $\eta = \sin^2 \varphi_1$, где $\varphi_1 = \pi n_1 T / (\lambda \cos \theta_0)$, n_1 – амплитуда модуляции показателя преломления, T – толщина среды, λ – длина волны восстанавливающего излучения в воздухе, θ_0 – угол падения восстанавливающего пучка на голограмму в среде. Следует отметить, что в условиях Брэгга при $\varphi_1 = k\pi \pm \arcsin \sqrt{\eta}$ (где $k = 1, 2, 3, \dots$) достигаются одинаковые ДЭ. Для выбора “ k ”, т. е. однозначного определения φ_1 , использовалось сопоставление формы расчетного контура угловой селективности с экспериментальной измеренной формой [6].

Результаты и обсуждения

На рис. 1 показан спектр ослабления исходного ФТР стекла до (кривая 1) и после (кривая 2) УФ облучения и термообработки. Из рисунка видно, что УФ облучение и термообработка приводят к образованию широкой полосы поглощения коллоидного серебра с максимумом в области 440–460 нм. Облучение второй гармоникой Nd³⁺YAG-лазера приводит к распаду коллоидных частиц серебра и практически полному исчезновению наведенной полосы (кривая 3). При этом спектр поглощения в видимой области после фотообесцвечивания приближается к спектру исходного стекла.

На рис. 2 показан контур угловой селективности голограммы до и после фотообесцвечивания. Видно, что до обесцвечивания контур голограммы носит асимметричный характер. Это

говорит о том, что записанная голограмма амплитудно-фазовая. Фотообесцвечивание голограммы не приводит к ее разрушению. Этот процесс приводит только к деформации контура угловой селективности голограммы. При этом следует специально отметить, что контур угловой селективности становится симметричным. Это говорит о том, что в процессе фотообесцвечивания голограмма из амплитудно-фазовой стала чисто фазовой, т. е. при обесцвечивании происходит разрушение только серебряных коллоидных центров окраски при сохранении кристаллической фазы.

Анализ изменения контура угловой селективности голограммы при фотообесцвечивании

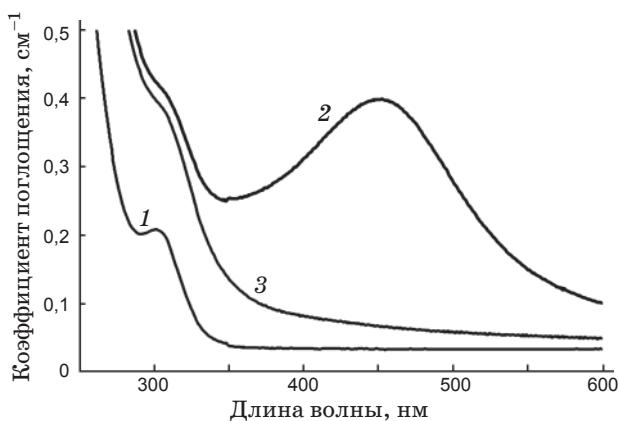


Рис. 1. Спектры ослабления ФТР стекла до (1) и после (2) УФ облучения и термообработки, 3 – после облучения второй гармоникой Nd³⁺YAG-лазера.

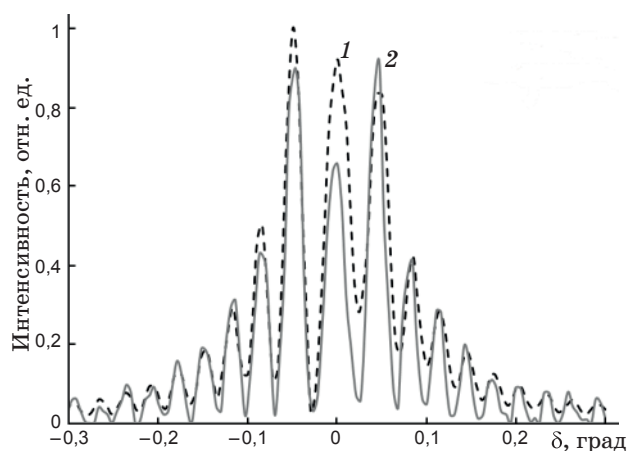


Рис. 2. Контур угловой селективности объемной трехмерной голограммы, записанной на ФТР стекле, до (1) и после (2) обесцвечивания.

показал, что переход от амплитудно-фазовой голограммы к фазовой приводит к увеличению амплитуды модуляции показателя преломления голограммы примерно на 5%.

Выводы

Показано, что под действием второй гармоники импульсного излучения неодимового лазера голограммы на основе фототерморефрактивного стекла из амплитудно-фазовых трансформируются в чисто фазовые, при этом увеличивается модуляция показателя преломления голограммы. Этот эффект происходит за счет разрушения серебряных коллоидных центров окраски при сохранении кристаллической фазы NaF–AgBr. Интенсивная полоса поглощения с максимумом 450 нм у исходной голограммы в процессе фотообесцвечивания практически полностью исчезает. Таким образом, полученные в результате фотообесцвечивания фазовые голограммы на основе ФТР стекла могут эффективно использоваться не только в инфракрасном, но и в видимом спектральном диапазоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучинский С.А., Никоноров Н.В., Панышева Е.И., Саввин В.В., Туниманова И.В. Свойства объемных фазовых голограмм на мультиспектральных стеклах // Опт. и спектр. 1991. Т. 70. № 6. С. 1296–1300.
2. Златов А.С., Никоноров Н.В. Оптимизация состава ФТР стекла для записи объемных фазовых голограмм для видимого диапазона // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. № 52. С. 14–17.
3. Glebov L.B., Smirnov V.I. Interaction of photo-thermo-refractive glass with nanosecond pulses at 532 nm // Proc. SPIE. 2004. V. 5273. P. 396–401.
4. Златов А.С., Корзинин Ю.Л., Никоноров Н.В. Изменение показателя преломления фото-терморефрактивных стекол в ближней инфракрасной области спектра // Сб. трудов междунар. конф. “Оптика-2007”. С. 384–386.
5. Kogelnik H. Coupled wave theory for thick hologram grating // Bell Syst. Techn. J. 1969. V. 48. № 9. P. 2909–2947.
6. Андреева О.В., Корзинин Ю.Л., Назаров В.Н., Гаврилюк Е.Р., Курсакова А.М. Дифракционная эффективность серебросодержащих голограмм на пористых стеклах в красной и ИК областях спектра // Оптический журнал. 1997. Т. 64. № 4. С. 142–146.