

07

© 1990

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПИСИ ТОЛСТОСЛОЙНЫХ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ГОЛОГРАММ ПРОСТРАНСТВЕННО НЕОДНОРОДНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ПУЧКАМИ

И.М. К л и о т-Д а ш и н с к а я, Л.В. М а й к о в а

Решение многих практических задач голографии связано с записью толстослойных отражательных голограмм Ю.Н. Денисюка. Качество восстановленных изображений определяется как свойствами используемого фотоматериала, так и характеристиками регистрирующего излучения. Влияние ограниченной степени пространственно-временной когерентности излучения на качество голографических изображений достаточно хорошо исследовано и подробно описано в литературе [1]. Однако возможности регистрации качественных голограмм излучением с неравномерным распределением интенсивности по сечению пучков записи практически не изучены. Особенно актуальным является решение этого вопроса в случае записи голограмм с помощью твердотельных импульсных лазеров, характеризующихся значительными неравномерностями интенсивности излучения. В данной работе исследуются механизмы влияния неравномерности записывающих лазерных пучков на качество восстановленного голограммой изображения с целью выбора оптимальных условий записи и химико-фотографической обработки (ХФО) отражательных голограмм при их регистрации излучением с пространственно неоднородной интенсивностью.

Для того чтобы количественно связать пространственную неравномерность интенсивности регистрирующих лазерных пучков с качеством восстановленного изображения, использовались два критерия оценки его качества – отклонение интегрального по площади голограммы значения дифракционной эффективности ($DЭ_{\text{и}}$) от значения $DЭ$, соответствующего равномерной засветке с оптимальной экспозицией, и величина наибольшего отклонения локальных значений $DЭ$ ($DЭ_{\text{лок}}$) от $DЭ$ при равномерной засветке. Первый критерий давал возможность оценить уменьшение общей яркости изображения при записи голограммы пространственно неоднородным пучком, второй – составить представление о локальных перепадах яркости в изображении. Вычисление значений $DЭ_{\text{и}}$ в предположении, что сечение записывающего пучка представляет из себя круг с радиусом R , распределение плотности энергии $E(r)$ по различным радиусам пучка носит осесимметричный характер, а максимум экспозиционной зависимости $DЭ(E)$ достигается при плотности энергии $E_{\text{ср}} = 2/R^2 \int_0^R E(r) r dr$, приводит к следующему выражению:

1	2		3		4	
фотоматериал	Расчет		Эксперимент		Расчет с учетом экспозиционной зависимости усадки	
	ДЭ _и	ДЭ _{лок}	ДЭ _и	ДЭ _{лок}	ДЭ _и	ДЭ _{лок}
ПФГ-03	0.97	0.72	0.92	0.40	0.93	0.42
ЛОИ-3	0.99	0.89	0.96	0.70	0.97	0.70
МВР-ЛИКИ	0.96	0.63	0.96	0.61	0.96	0.63

$$DЭ_{и} = \frac{2 \int_0^R r DЭ[E(r)] dr}{R^2 DЭ\left[2/R^2 \int_0^R E(r) r dr\right]}, \quad (1)$$

где величина $DЭ_{и}$ нормирована на значение $DЭ$ при равномерной засветке с энергией $E_{ср}$. Полученное выражение устанавливает количественную связь интегральной яркости восстановленного изображения с распределением плотности энергии в сечении регистрирующего пучка $E(r)$ и формой экспозиционной зависимости $DЭ$ для используемого фотоматериала при заданных условиях ХФО. Величина $DЭ_{лок}$ может быть найдена непосредственно из вида зависимости $DЭ(E)$ для максимального отклонения значений $E_{лок}$ от $E_{ср}$.

Наиболее очевидной причиной влияния неравномерности интенсивности лазерных пучков на качество голографического изображения является его ухудшение вследствие колебаний значений дифракционной эффективности ($DЭ$) в плоскости изображения, соответствующих неравномерностям интенсивности в записывающем пучке и ограниченных формой экспозиционной зависимости $DЭ$ используемого фотоматериала. Для экспериментальной проверки соотношения (1) с учетом этого механизма был проведен прямой эксперимент по измерению интегральных и локальных значений $DЭ$. Отражательные голограммы зеркального объекта диаметром 10 см записывались по однолучевой схеме пучком рубинового лазера на высоко разрешающих голографических фотоматериалах, применяемых для записи изобразительных отражательных голограмм [2-4]. Неравномерность интенсивности излучения по сечению пучка измерялась фотометрическим путем, характерный размер области с постоянной плотностью энергии составлял 3-5 мм, отношение E_{max}/E_{min} достигало 10. После ХФО голограммы восстанавливались пучком He-Ne лазера. Интегральные значения $DЭ$ измерялись при освещении всей площади голограммы, значения $DЭ_{лок}$ - сканируя узким

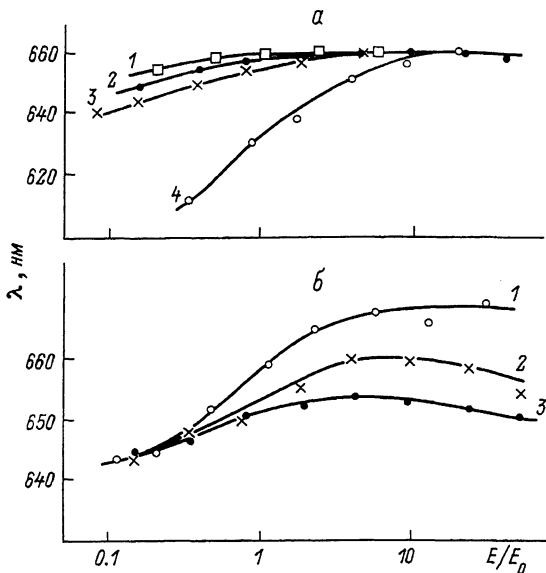


Рис. 1. Экспериментальная зависимость длины волны восстановленного изображения от нормированного значения экспозиции для фотоматериалов МВР-ЛИКИ (1), ЛОИ-3(2), ПФГ-ОЗ(3) и ЛОИ-1(4) при обработке в проявителе ПП-8 (а) и для фотослоя ЛОИ-3 при проявлении в проявителях ПРГ-1(1), ПП-8(2) и ПП-2(3) (б); E_0 - плотность энергии, при которой достигаются максимальные значения ДЭ.

(диаметром 1 мм) пучком лазера по ее поверхности. Расчетные величины получали исходя из экспериментальных зависимостей $E(\lambda)$ и ДЭ(E) (при брэгговских условиях восстановления). Вычисления ДЭ проводились на ЭВМ в соответствии с формулой (1). Результаты представлены в графах 2 и 3 таблицы. Видно, что расчетные данные существенно превышают экспериментально измеренные значения ДЭ. Полученные результаты свидетельствуют о наличии неучтенного при расчетах механизма влияния неравномерности излучения на качество изображения. Было сделано предположение, что существенный вклад в ухудшение качества дают также изменения угла Брэгга по плоскости изображения при восстановлении, возникающие вследствие зависимости усадки фотоматериала в процессе ХФО от экспозиции при записи и соответствующие неравномерностям интенсивности в записывающем пучке. В этом случае даже при широкой зависимости ДЭ(E) эффективная ее ширина при восстановлении под постоянным углом может оказаться существенно меньшей и качество изображения хуже расчетного. Экспозиционные зависимости усадки фотоматериалов экспериментально измеря-

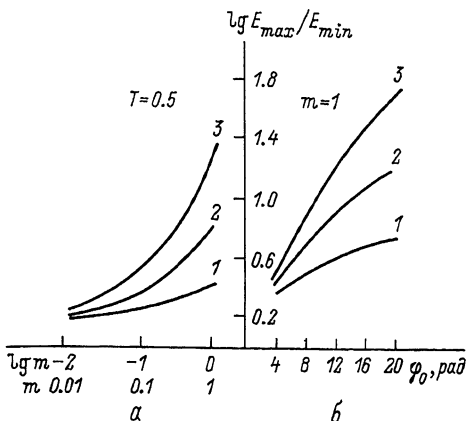


Рис. 2. Расчетные зависимости ширины кривой ДЭ(Е) от соотношения интенсивностей пучков при записи голограмм (m) при $\varphi_0 = 4(1), 12(2)$ и $20(3)$ рад (а) и от максимальных значений фазовых набегов, достигаемых на фотослое после его ХФО (φ_0) при значениях пропускания фотослоя после его экспонирования и ХФО - $T=1(1); 0.5, 1.0(3)$ (б).

лись на установке Цвет-1. Примеры полученных зависимостей представлены на рис. 1. Подробное исследование экспозиционной неравномерности усадки для рассматриваемых голографических фотоматериалов при различных ХФО голограмм показало, что она может достигать значительных величин, существенно уменьшая ширину зависимости ДЭ(Е) при восстановлении под постоянным углом. Для минимизации экспозиционной неравномерности усадки необходимо использовать фотослой с минимальным содержанием галогенида серебра в эмульсии и применять проявители с минимальной поверхностной массой проявленного серебра с задубливанием фотослоя на стадии фиксирования. В графе 3 таблицы приведены расчетные данные полученные на основании измеренных эффективных зависимостей ДЭ_{эфф}(Е) (с учетом экспозиционной зависимости усадки фотоматериала). Видно, что учет предложенного механизма привел к хорошему совпадению экспериментальных и расчетных данных. Таким образом, качество изображения при записи голограмм пространственно неоднородным излучением определяется не только шириной зависимости ДЭ(Е), но и величиной экспозиционной зависимости усадки.

Далее изучалось влияние условий записи и ХФО голограмм (типа голографируемого объекта, соотношения пучков и толщины фотослоя при записи голограммы величины максимального фазового набега и пропускания фотоматериала после ХФО) на ширину зависимости ДЭ(Е) при брэгговских условиях восстановления. При расчетах использовался подход, развитый в работах [5, 6], позволяющий

вычислять ДЭ толстослойных фазовых отражательных голограмм зеркально отражающих и диффузно рассеивающих объектов, зарегистрированных на фотоматериалах с нелинейными фазовоэкспозиционными характеристиками. На рис. 2 представлены примеры полученных расчетных зависимостей (ширина кривой ДЭ(Е) определялась как отношение максимальной и минимальной энергии для интервала экспозиций, в котором величина ДЭ превышала 0,9 ее максимального значения). Видно, что форму зависимости ДЭ(Е) можно регулировать оптимальным подбором условий записи и ХФО голограмм. Так, при росте значений фазового набега наблюдается усиление влияния величины соотношения интенсивностей пучков при записи на ширину кривой ДЭ(Е). Например, уменьшение значений соотношения пучков от 1 до 0,1 приводит к сужению кривой ДЭ в 1,5 раза при $\varphi_0 = 4$ рад и более чем в 6 раз при $\varphi_0 = 20$ рад. При соотношении пучков $m=1$ увеличение значений фазового набега приводит к значительному уширению кривой ДЭ(Е) главным образом для прозрачных голограмм, поэтому для записи отражательных голограмм пространственно неоднородным пучком в случае ХФО с отбеливанием особенно актуальной является разработка способов отбеливания с высокими значениями фазовых набегов.

Таким образом, показано, что важнейшей характеристикой голографического фотоматериала наряду с максимальными значениями ДЭ является ширина экспозиционной зависимости ДЭ, определяющая качество изображения при записи голограмм пространственно неоднородным пучком, выявлены основные механизмы ее регулирования.

В заключение авторы выражают благодарность Ю.Н. Денисюку и Д.И. Стаселько за полезные обсуждения и внимание к работе, а также С.В. Артемьеву и М.К. Шевцову за предоставленную возможность использования установки Цвет-1.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Стаселько Д.И. Оптическая голография. Л.: Наука, 1975.
- [2] Ярославская Н.Н., Акимова Л.А., Сидорова И.В. и др. Тез. докл. респ. семинара „Прикладная голография“, Киев: Наукова думка, 1984.
- [3] Пальцев Г.П., Кособокова Н.Л., Михайлова В.И., Шевцов М.К. Тез. докл. Всес. конф. „Физические процессы в светочувствительных системах на основе солей и серебра“, Кемерово, 1986.
- [4] Бруй Е.Б., Клиот-Дашинская И.М., Курсакова А.М., Климзо Э.Ф. Оптическая голография. Практические применения. Л.: Наука, 1985.

[5] Клиот - Дашинская И.М. // ЖТФ. 1986. Т. 56. В. 12. С. 2346.

[6] Клиот - Дашинская И.М., Бруй Е.Б., Куртсакова А.М. // ЖТФ. 1990. Т. 60. В. 5.

Поступило в Редакцию
15 марта 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 11

12 июня 1990 г.

11; 12

© 1990

ПИКОСЕКУНДНАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ЭОК СО СМЕННЫМИ ФОТОКАТОДАМИ

В.А. Подвизников, А.М. Прохоров,
А.В. Прохиндеев, В.К. Чевокин

Методы рентгеновской электронно-оптической диагностики нашли очень широкое применение в исследованиях лазерной плазмы [1-5]. Все эти методы основаны на использовании рентгеновских электронно-оптических камер (ЭОК). К сожалению, в нашей стране все известные рентгеновские ЭОК были разработаны на базе электронно-оптических преобразователей (ЭОП) со слюдяными окнами, что ограничивало область их применения, т.к. не позволяло регистрировать мягкое рентгеновское излучение с энергиями квантов менее 1 кэВ. Единственным методом, позволяющим регистрировать мягкое рентгеновское излучение, является метод, основанный на использовании ЭОП со сменными фотокатодами. В отечественной литературе сообщалось о проведении динамических испытаний ЭОК на базе малогабаритного ЭОП со сменными фотокатодами [6], однако временное разрешение ЭОК составило величину несколько десятков пикосекунд. Нами разработана рентгеновская ЭОК, имеющая временное разрешение в единицы пикосекунд.

Основным элементом ЭОК является ЭОП, созданный путем модернизации преобразователя ПВ-006А. Модернизация заключалась в удалении входного окна вместе с манжетой и сочленение ЭОП со специальным фланцем, позволяющим производить стыковку ЭОП с вакуумной камерой взаимодействия. В центре фланца сделано отверстие, в которое устанавливается сменный держатель для подложки с нанесенным на нее фотокатодом. По периферии фланца предусмотрены отверстия для откачки объема ЭОП после его стыковки с камерой взаимодействия. Фотокатод выполнен в виде щели шириной 100 мкм и высотой 5 мм. Предварительно на эту щель в качестве подложки наносится пленка из нитроцеллюлозы толщиной не более 1000 Å. В качестве фотокатодов используются напыленные слои Au и $Cs I$ соответствующей толщины. В ряде экспериментов