УДК 535.41 *ФИЗИКА*

И. С. КЛИМЕНКО, Е. Г. МАТИНЯН, Г. В. СКРОЦКИЙ

О ПРИРОДЕ КВАЗИОСЕВЫХ РЕКОНСТРУКЦИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ «БЕЗОПОРНЫМИ» ГОЛОГРАММАМИ СФОКУСИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

(Представлено академиком А. М. Прохоровым 25 VII 1972)

В работах (¹,²) было показано, что голограммы сфокусированных изображений диффузно рассеивающих объектов, наряду с обычными внеосевыми реконструкциями, формируют также восстановленные позитивные изображения. Они наблюдаются в некотором интервале углов вблизи оси освещающего пучка. Появление таких изображений связано с регистрацией на фотопластинке низкочастотной пространственной структуры. В настоящей работе выясняются причины, приводящие к возникновению такой структуры, а следовательно, и самих изображений.

Регистрация «безопорных» голограмм сфокусированных изображений (г.с.н.), т. е. фотографирование, производилось в диффузно рассеянном ко-герентном излучении. Внешне г.с.и. выглядит как негативное фотографическое изображение предмета, однако наличие сложной пространственной структуры сообщает ей основные свойства голограммы. При освещении произвольным источником в квазиосевом направлении наблюдается позитивное изображение, причем наиболее темным участкам негатива соответствуют наиболее яркие области восстановленного изображения и наоборот.

На рис. 1* приведена фотография квазиосевого изображения, формируемого безопорной г.с.и. при освещении белым светом. Важная особенность таких голограмм заключается в отсутствии в них какого-либо преимущественного направления наблюдения, характерного для голограмм с внеосевым опорным пучком. Реконструированное изображение наблюдается при любом положении наблюдателя относительно линии источник — голограмма (внутри телесного угла, определяемого условиями регистрации). При удалении от оси освещающего пучка в восстановленном изображении наблюдается заметная дисперсионная окраска. Кроме того, восстановленные квазиосевые изображения отличаются от обычных реконструкций значительным перепадом яркостей.

Эксперименты показали, что диффузное рассеяние света объектом является необходимым условием получения квазиосевых изображений, причем наилучшие условия их наблюдения достигаются тогда, когда в рассеянном излучении отсутствует регулярная (зеркальная) составляющая. Поэтому логично предположить, что безопорные г.с.и. регистрируются с участием некоторой протяженной опорной волны, присутствующей

в сфокусированном излучении.

Если сравнить такие голограммы с описанными в работе Строука (3) голограммами сфокусированных изображений, полученными при введении соосно-сферического опорного пучка, то нетрудно обнаружить между ними существенное различие. Голограммы Строука позволяют получать восстановленные изображения со значительной глубиной (благодаря отсутствию дисперсии), в то время как безопорные г.с.и. формируют без размазывания лишь изображения предметов с весьма ограниченной глубиной. Это подтверждает предположение о протяженности соосного опорного источника, присутствующего в поле сфокусированной волны.

Рис. 1 см. вклейку к стр. 568.

Обычно при анализе возможности использования протяженных опорных волн в голографии сфокусированных изображений (4,5) предполагается, что распределение амилитуд в сечении опорной волны плоскостью голографирования является однородным. Это реализуется на практике при диффузном рассеянии опорного пучка или при использовании в качестве опорной волны части рассеянного объектом излучения. Нетрудно, однако, показать, что в случае, когда опорный пучок в плоскости голографирова-

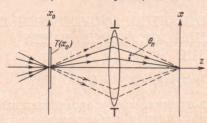


Рис. 2. Схема регистрации сфокусированного изображения в диффузно рассеянном излучении

ния характеризуется неоднородным амплитудным распределением, восстановленное изображение объекта оказывается промодулированным соответствующей пространственной структурой. Иными словами, имеет место оптическое перемножение двух функций пространственных переменных, одна из которых описывает структуру объекта, а вторая — структуру опорной волны в плоскости г.с.и.

Рассмотрим теперь с этих позиций элементарную теорию процесса фото-

графирования в диффузно рассеянном когерентном излучении. Пусть сфокусированное изображение двумерного объекта, характеризуемого функцией амплитудного пропускания (отражения) $T(x_0)$, формируется линзой в плоскости x (одномерный случай, единичное увеличение (см. рис. 2)). Диффузное освещение объекта можно представить как освещение его набором плоских волн, распространяющихся в некотором интервале углов около оптической оси, т. е.

$$I_{\Gamma}(x) = \Big| \sum_{n=1}^{N} T(x) \exp(-ikx \sin \theta_n) \Big|^2 = N |T(x)|^2 + \sum_{n=1}^{N} \sum_{m=n}^{N} T(x) T^*(x) \exp[-ikx (\sin \theta_n - \sin \theta_m)] + \text{c.c.}$$
(1)

Перепишем (1) в виде

$$I_{r}(x) = N |T(x)|^{2} + \sum_{n}^{N} \sum_{m \neq n}^{N} |T(x)|^{2} \exp\left(-i \frac{2\pi}{d_{nm}} x\right) + \text{c. c.};$$
 (2)

здесь $d_{nm} = 2x/k(\sin\theta_n - \sin\theta_m)$ — период интерференционной картины, соответствующей когерентному наложению двух элементарных изображений.

Первое слагаемое (2) описывает регистрируемое негативное изображение, а второе и третье — пространственную структуру, возникающую в результате интерференции всех пространственных составляющих диффузно рассеянной волны. Для каждого элементарного изображения роль протяженной опорной волны играет совокупность всех остальных изображений. В результате имеет место перекрестная модуляция элементарных сфокусированных изображений, причем вследствие таутохронизма линзы все они накладываются друг на друга без смещения.

Из формулы (2) следует, что каждая из «парциальных» несущих промодулирована интенсивностью объектной волны (а не амплитудой, как обычно), с сохранением фазы огибающей.

При освещении безопорной г.с.и. плоской монохроматической волной на выходе получаем распределение амплитуд (фактор распространения опущен):

$$U_{B}(x) = N |T(x)|^{2} + \sum_{n=1}^{N} \sum_{m\neq n}^{N} |T(x)|^{2} \exp(-ikx \sin \theta_{nm}) + c. c.,$$
 (3)

где $\sin heta_{nm} = 2\pi \ / \ (kd_{nm})$ соответствует дифракции восстанавливающего

пучка на одной из «парциальных» несущих.

Негативное изображение, описываемое первым слагаемым (3), наблюдается строго в осевом направлении, причем его можно устранить путем отбеливания фотопластинки. Во всех остальных направлениях внутри телесного угла, определяемого геометрией записи, наблюдается позитивное изображение, распределение амплитуд в котором пропорционально распределению интенсивностей исходного объекта. Значительный перепад яркостей в квазиосевых восстановленных изображениях обусловлен именно тем обстоятельством, что безопорные г.с.и. являются голограммами интенсивностей.

Поступило 29 VI 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ G. B. Brandt, Appl. Opt., 8, 1421 (1969). ² И. С. Клименко, Е. Г. Матинян, Оптика и спектроскопия, 28, 55 (1970). ³ G. W. Stroke, Phys. Lett., 23, 325 (1966). ⁴ И. С. Клименко, Е. Г. Матинян, Оптика и спектроскопия, 29, 1432 (1970). ⁵ И. С. Клименко, Е. Г. Матинян, Оптика и спектроскопия, 31, 776 (1971).