

Схемы восстановления интерференционных картин при использовании отдельных голограмм периодической структуры, записанных в низкокогерентном свете с опорной дифракционной решеткой

Н. Т. Авласевич, Ю. Р. Бейтюк, А. М. Ляликов

*Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь,
e-mail: amlialikov@grsu.by*

Рассмотрены два варианта оптических схем восстановления интерференционных картин при использовании отдельных голограмм периодической структуры, записанных в низкокогерентном свете с опорной дифракционной решеткой. В первом случае восстановление интерференционных картин реализуется при использовании пары совмещенных голограмм, а во втором при их размещении в оптически сопряженных плоскостях. Определен вид опорных полос, формируемых в интерферограммах, восстановленных в рассматриваемых схемах.

Ключевые слова: периодическая структура; отдельные голограммы; низкокогерентный свет; дифракционная решетка; восстановление интерференционной картины.

Schemes of restoration of interference patterns using separate holograms of periodic structure recorded in low-coherent light with a reference diffraction grating

N. T. Avlasevich, Yu. R. Beityuk, A. M. Lyalikov

Yanka Kupala State University of Grodno, Belarus, e-mail: amlialikov@grsu.by

Two versions of optical schemes for restoring interference patterns using separate holograms of a periodic structure recorded in low-coherent light with a reference diffraction grating are considered. In the first case, the restoration of interference patterns is realized using a pair of combined holograms, and in the second, when they are placed in optically conjugated planes. The type of reference samples formed in interferograms recovered in the schemes under consideration was determined.

Keywords: periodic structure; separate holograms; low-coherent light; diffraction grating; restoration of interference pattern.

Введение

Структурированные объекты, параметры которых в пространстве описываются периодическими функциями, могут создаваться искусственно или иметь естественную природу возникновения [1, 2]. К этим объектам можно отнести голограммные оптические элементы, жидкокристаллические и акустооптические преобразователи оптического излучения, активные среды перестраиваемых лазеров с распределенной обратной связью, динамические магнонные кристаллы [3–7]. Для таких объектов пространственные параметры, такие как амплитудное пропускание или показатель преломления среды объекта описываются периодическими или

квазипериодическими функциями, причем эти параметры зависят как от пространственных, так и временных координат.

Ранее для визуального контроля периодических структур и выявления пространственного положения макродефектов были предложены оптические способы, основанные на эффекте образования муаровой или интерференционной картины полос [8–11]. Основной недостаток интерференционных способов при использовании высококогерентных источников света заключался в сравнительно высоком шуме в интерференционной картине, возникающем из-за рассеяния когерентного света и возникновении спекл эффектов [11].

Интерференционные способы анализа периодической структуры, основанные на записи голограммы в некогерентном свете, с последующей оптической обработкой, позволили значительно упростить устройство записи и восстановления голограммы за счет отказа от применения лазеров, и при этом сохранить степень компенсации aberrаций, что значительно повысило значение коэффициента чувствительности измерений [12].

При реализации голографической интерферометрии периодических структур в некогерентном свете возникают ограничения в регулировке ширины и направления интерференционных полос в восстанавливаемой интерференционной картине [13]. Данный недостаток был исключен посредством усложнения оптической схемы записи голограмм периодических структур в некогерентном свете. Было предложено устройство записи голограмм, включающее дополнительную дифракционную решетку [14–17].

В данной работе рассмотрены схемы восстановления интерференционных картин при использовании пары отдельных голограмм периодической структуры, записанных в некогерентном свете с дополнительной эталонной дифракционной решеткой.

1. Схемы восстановления интерференционных картин при использовании пары голограмм периодической структуры

На рис. 1 приведена оптическая схема восстановления интерференционной картины при использовании пары совмещенных голограмм.

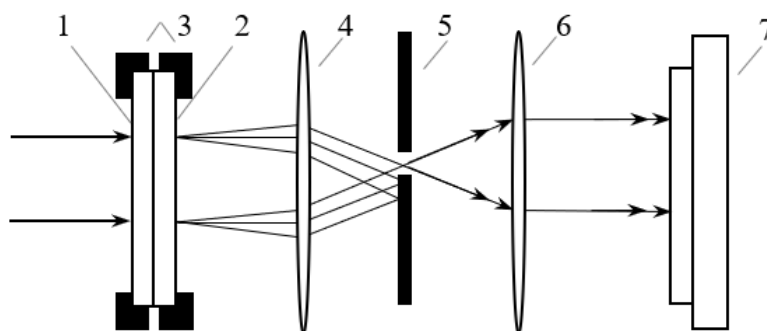


Рис. 1. Оптическая схема восстановления интерференционной картины при использовании пары совмещенных голограмм:

1, 2 – голограммы; 3 – оптический держатель; 4, 6 – объективы; 5 – экран; 7 – цифровая камера

Пара голограмм 1, 2 исследуемой структуры на рис. 1, записанных в устройстве записи голограмм некогерентным светом с дополнительной эталонной дифракционной решеткой, устанавливаются в специальный оптический держатель 3, обеспечивающий точное совмещение изображений исследуемой структуры, и освещаются одним пучком коллимированного света. Следует отметить, что требования к высокой пространственно-временной когерентности источника света отсутствуют. Для устранения эффекта спектрального размытия спектра дифрагированных в первом порядке волн в задней фокальной плоскости объектива 4 на экране 5 желательно использовать источник света с дискретным спектром, в противном случае использовать дополнительно спектральные фильтры для сужения спектра излучения. Данный экран с отверстием выделяет только спектральные составляющие волн дифрагированные на первой 1 и второй 2 голограммах в первом порядке дифракции. Интерференционная картина, визуализирующая разницу состояний исследуемой структуры, формируется в плоскости приемной матрицы цифровой камеры 7, оптически сопряженной объективами 4,6 с плоскостью совмещения пары голограмм 1, 2.

Использование пары голограмм, записанных на различных носителях, при оптической обработке голограмм, расположенных в оптически сопряженных плоскостях, требует уже более сложного устройства восстановления интерференционной картины. Кроме этого, точность совмещения изображений исследуемой структуры также не должна быть хуже, чем для случая контактного совмещения пары носителей голограмм. Данное условие реализуется только при использовании хотя бы одного специального держателя носителя голограммы. Функцию такого держателя может выполнять держатель оптики, снабженный механизмами перемещения элемента в плоскости, перпендикулярной главной оптической оси оптического устройства.

На рис. 2 приведена оптическая схема восстановления интерференционной картины исследуемой периодической структуры, записанной на различные носители голограмм в устройстве записи голограмм некогерентным светом с дополнительной эталонной дифракционной решеткой.

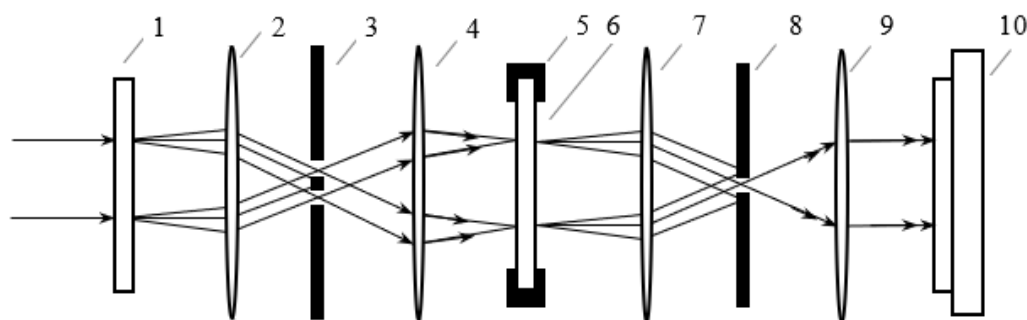


Рис. 2. Оптическая схема восстановления интерференционной картины при использовании пары голограмм, установленных в оптически сопряженных плоскостях:
1, 6 – голограммы; 2, 4, 7, 9 – объективы; 3, 8 – экран; 5 – оптический держатель;
10 – цифровая камера

Требования к пространственно-временной когерентности используемого источника света в оптической схеме на рис. 2 аналогичны, как и для вышерассмотренного случая (рис. 1). В схеме восстановления интерференционной картины на рис. 2 используется пара голограмм 1, 6, одна из которых, например, голограмма 6, размещается в специальном держателе оптики, позволяющим смещать голограмму в плоскости, перпендикулярной главной оптической оси устройства. Голограммы 1, 6 оптически сопрягаются объективами 2, 4. Следует отметить о выполнении обязательного условия для увеличения двухлинзовой оптической системы 2, 4 строго в 1 крат. Экран 3, установленный в задней фокальной плоскости объектива 2, предназначен для выделения пары световых волн, дифрагированных на голограмме 1 в первых комплексно-сопряженных порядках. Восстановленная пара световых волн, выделенная отверстиями в экране 3, освещает голограмму 6. При точном совмещении голограммы 6 (данное требование обеспечивается механизмами настройки держателя 5) с изображением исследуемой структуры, записанной на голограмме 1, по нормали к голограмме 6 восстановится пара световых волн. Данная пара световых волн отделяется от других волн отверстием в экране 8, установленном в задней фокальной плоскости объектива 7, образует в плоскости приемной матрицы цифровой камеры 10, оптически сопряженной с голограммой 6 объективами 7, 9, интерференционную картину.

Следует отметить, что схема на рис. 2 по сравнению со схемой на рис. 1 позволяет восстанавливать интерференционные картины при использовании высших порядков дифракции с повышением чувствительности измерений.

Заключение

Таким образом, при восстановлении интерференционных картин с использованием пары раздельных голограмм периодической структуры, записанных в некогерентном свете с дополнительной эталонной дифракционной решеткой, возможны два варианта реализации. В наиболее простом в реализации способе восстановления интерференционной картины при использовании пары совмещенных голограмм периодической структуры вид опорных полос в восстановленной интерференционной картине: ширина полос и их ориентация определяются аналогично, как и для случая применения двухэкспозиционной голограммы. При восстановлении интерференционной картины в первых порядках дифракции при использовании пары голограмм, установленных в оптически сопряженных плоскостях, в отличие от использования совмещенных голограмм, или голограммы двукратного экспонирования происходит двукратное уменьшение периода опорных полос при сохранении ориентации опорных полос в пространстве.

Библиографические ссылки

1. Одно- и двухлучевое оптическое формирование рельефных дифракционных микроструктур в пленках карбазол, содержащего азополимер / Н. А. Ивлиев [и др.]. // Оптика и спектроскопия. 2021. Т. 129, № 4 С. 400–405.

2. Определение показателей слоев фотонного кристалла из анодного оксида алюминия / М. В. Пянов [и др.]. // Журнал технической физики. 2024. Т. 94, № 2. С. 278–283.
3. Миронова Т. В., Крайский А. В. Оценка упорядоченности поперечной структуры мезопористых фотонных кристаллов // Оптика и спектроскопия. 2021. Т. 129, В. 4. С. 528–532.
4. Парыгин В. Н., Балакиев В. И. Оптическая обработка информации. М.: МГУ, 1987. 142 с.
5. Electrically controlled waveguide liquid-crystal elements / O. S. Kabanova [et al.] // Technical Physics Letters. 2014. Vol. 40, iss. 7. P. 598–600.
6. Устинова И. А. Динамический магнетонный кристалл на основе феррит-сегнезлектрической слоистой структуры / И. А. Устинова, А. А. Никитин, А. Б. Устинов // Журнал технической физики. 2016. Т. 86, № 3. С. 155–158.
7. Перестраиваемый акустический резонатор на периодических доменных структурах / А. В. Голенищев-Кутузов [и др.] // Письма в ЖТФ. 2012. Т. 38. В. 18. С. 1–6.
8. Ляликов А. М. Визуализация макроскопических дефектов поверхности объекта с периодической структурой // Оптический журнал. 1995. № 1. С. 28–31.
9. Ляликов А. М., Авласевич Н. Т. Визуализация макродефектов динамических периодических структур на основе муарового эффекта // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 2. Матэматыка. 2018. Т. 8, № 3. С. 55–62.
10. Groshenko N. A. Optical vortices in the scattering field of magnetic domain holograms / N. A. Groshenko, O. S. Makalish., A. V. Volyar // Technical Physics. 1998. Vol. 43, № 12. P. 1450–1453.
11. Интерферометрия оптических вихрей при наличии пространственного фазового шума / Д. Д. Решетников [и др.] // Оптика и спектроскопия. 2024. Т. 132, № 7. С. 763–768.
12. Ляликов А. М. Высокочувствительная голографическая интерферометрия фазовых объектов: монография. Гродно: ГрГУ, 2010. 215 с.
13. Ляликов А. М., Авласевич Н. Т. Регулирование чувствительности измерений в голографической интерферометрии динамических периодических структур // Оптический журнал. 2019. Т. 86, № 3. С. 56–60.
14. Авласевич Н. Т., Ляликов А. М. Устройство записи голограмм периодических структур в пространственно некогерентном свете с произвольной ориентацией полос структуры // XI Международная конференция по фотонике и информационной оптике: сб. науч. тр. М.: НИЯУ "МИФИ". 2022. С. 625–626.
15. Авласевич Н. Т., Ляликов А. М. Формирование голограмм периодических структур в некогерентном свете с использованием опорных решеток // XI Международная конференция по фотонике и информационной оптике: сб. науч. тр. / М.: НИЯУ "МИФИ". 2022. С. 621–622.
16. Авласевич Н. Т., Ляликов А. М. Особенности формирования голограмм периодических структур в некогерентном свете с опорной дифракционной решеткой // Проблемы физики, математики и техники. 2022. № 3. С. 7–12.
17. Ляликов А. М., Авласевич Н. Т. Особенности настройки опорных полос в интерферограммах, восстановленных при использовании двухэкспозиционных голограмм периодической структуры, записанных в некогерентном свете с опорной дифракционной решеткой // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Сер. 2, Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. 2024. Т. 14, № 2. С. 68–75.