

Обзор математического метода анализа интерферограмм

Мионов Сергей Николаевич, Аспирант, МТУ, Россия, г.Москва

Научный руководитель: **Величко Александр Павлович**, к.т.н., доцент. Кафедра приборы и информационно-измерительные системы, МТУ, Россия, г.Москва

Аннотация. Возможности регистрации самосветящихся объектов (например, люминесцирующих частиц) ограничены пределами глубины резкости оптической системы, строящей изображение частиц. Существенное расширение глубины регистрируемой сцены может быть достигнуто при использовании записи объектов методами голографии в частичнокогерентном излучении. Если на такую некогерентную голограмму записана объемная сцена, то восстановленное изображение можно последовательно вводить в компьютер, фокусируясь на различных слоях зарегистрированной сцены, и далее математически анализировать с целью выявления геометрических и статистических параметров объектов.

Ключевые слова: голография, цифровое изображение, моделирование, структура, состав.

Введение

Современное развитие микро- и нанотехнологий требует разработки новых подходов и методов в диагностике свойств сред и объектов, а также исследования процессов и структурных изменений, в них происходят под действием внешних факторов. В частности, актуальным вопросом диагностики является в области волоконной техники, поскольку известно, что увеличение плотности информации, которая передается через оптоволокно, требует микро- и даже наноструктурирование его сердцевины. Известно, что классическим методом исследования микро- и наномасштабных сред, явлений и процессов является оптическая микроскопия. Однако ее существенными недостатками являются ограничения пространственного разрешения за явления дифракции волн, а также техническая сложность 3D-визуализации фазовых микрообъектов.

С появлением когерентных источников излучения одним из самых перспективных инструментов экспериментального исследования характеристик материалов, свойств фазовых и диффузных макро- и микрообъектов становятся когерентно-оптические методы, в частности метод голографического интерферометра. Однако для исследования микрообъектов применение голографического интерферометра возможно только в сочетании с классической микроскопией. Такое сочетание позволяет проводить качественную и количественную диагностику с большой чувствительностью и точностью, достигая необходимого увеличения изображения.

Однако, несмотря на интенсивное развитие современных методов цифровой интерферометрии, в зависимости от специфики исследуемых объектов существует необходимость адаптации оптических голографических схем, оптимизации условий эксперимента, согласование параметров средств цифровой регистрации с характеристиками оптической системы интерференционного микроскопа[1].

Обзор метода анализа интерферограмм средствами голографии

Основной принцип голографического метода восстановления изображения – многократная послойная регистрация. Представляет интерес заменить её одной единственной компьютерной регистрацией самой некогерентной голограммы, с последующим компьютерным восстановлением и анализом изображения всех интересующих слоев расчетным путем по методике указанной в [2].

На рисунке 1 показана предлагаемая схема регистрации некогерентных голограмм.

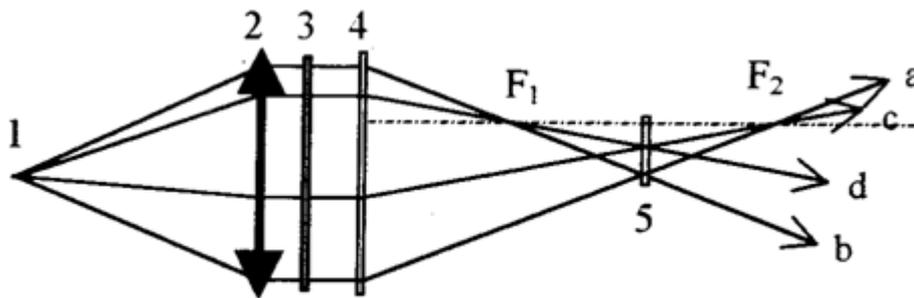


Рисунок 1 – Схема регистрации некогерентных голограмм.

Объект 1 небольшого размера (совокупность самосветящихся точек) находится в фокусе объектива 2, направляющего коллимированный пучок на двухмасштабную голографическую зонную пластинку 4 через интерференционный фильтр 3. Масштабы верхней и нижней частей этой пластинки соотносятся так, что фокальная длина нижней части значительно больше фокальной длины верхней. Приемная матрица 5 цифровой фотокамеры расположена точно посередине между фокусами верхней и нижней частей F_1 и F_2 . При этих условиях в любую точку приемной матрицы будут приходить пары лучей, составляющих равные по модулю углы с общей оптической осью зонных пластинок. На рис. 1 показаны две пары таких лучей - a, b и c, d.

Если рассматривать лучи, исходящие из одной точки объекта, то после коллимирующего объектива они оказываются таутохронными. Вследствие этого любая пара лучей, сходящихся на приемной матрице, оказывается взаимно когерентной, так как обладает нулевой разностью хода. Таким образом, приемная матрица регистрирует поле интерференции двух сферических волн с центрами в точках F_1 и F_2 . Это поле представляет собой картину колец Ньютона. При поперечном смещении точки объекта будет соответственно перемещаться картина колец Ньютона, а при продольном смещении будет меняться ее масштаб. Таким образом, координата регистрируемой точки объекта оказывается зафиксированной в виде положения и масштаба картины колец Ньютона. Совокупность точек объекта отобразится совокупностью наложенных друг на друга картин. Эта интегральная картина и является некогерентной голограммой самосветящегося объекта. Фактически, распределение контраста и фазы колец Ньютона на этой голограмме представляют собой (в определенном масштабе) распределение модуля и фазы функции пространственной когерентности объектного излучения в плоскости объектива [3].

Наиболее простой алгоритм компьютерного восстановления изображения с такой голограммы сводится к вычислению функции корреляции зафиксированного матрицей распределения интенсивности $I(x,y)$ с распределением интенсивности I_n в идеальной картине колец Ньютона. При этом для послойного восстановления объекта необходимо вычислить функции корреляции интенсивности $I(x,y)$ с распределениями I_n различного масштаба.

Макет для анализа микросред

Предлагается использовать описанный метод в цифровом голографическом микроскопе (рисунок 2) [4], для исследования структуры фазовых микрообъектов, в частности возможно применять для контроля качества оптических волокон. Схема голографического

интерференционного микроскопа построена на базе интерферометра Маха-Цендера, в котором одно из плеч является опорным (элементы 3, 5, 6, 10), а второе (элементы 3, 4, 7, 8, 9, 10) – измерительным. Кроме того, для получения необходимого увеличения изображения исследуемых микрообъектов измерительное плечо интерферометра является одновременно микроскопом. Оптическая система микроскопа состоит из микрообъектива 9 и объектива цифровой камеры 11 изображение объекта проецируется на ПЗС-матрицу фотоаппарата.

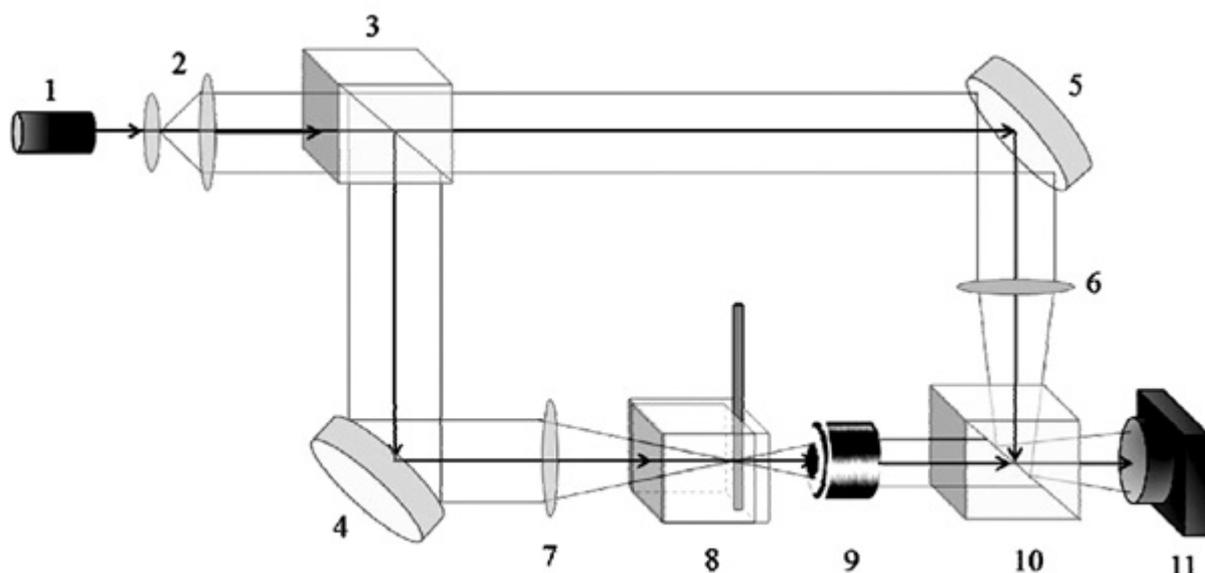


Рисунок 2 – Схема цифрового голографического микроскопа для исследования микросред: 1 лазер; 2 - коллиматор; 3. 10-светоделительные кубики; 4. 5 зеркала; 6 7 линзы; 8 кювета с исследуемым оптоволоконным объектом; 9 - микрообъектив; 11 цифровая фотокамера.

В качестве источника излучения 1 используется диодный лазер HLDPM12-655-25 с длиной волны 650 нм и мощностью 25 мВт. С помощью коллиматора 2 лазерный пучок расширяется до диаметра 12 мм. Для регистрации изображения использован фотоаппарат CANON EOS 50D со следующими характеристиками: фотообъектив CANON EF-S17-85, матрица CMOS размером 22.3x14.9 мм, максимальное разрешение - 4752x3168, размер пиксела 4,6 мкм [5].

Такой макет представляет широкие возможности для анализа качества волокна: исследования показателя преломления, наличие инородных включений и т.д. Одной из проблем при исследовании оптических волокон являются краевые эффекты, обусловленные большими фазовыми изменениями в измерительном пучке и, как следствие, большим смещением и плотностью полос на краю волокна, что делает невозможным расшифровку интерферограм. Для уменьшения таких эффектов исследуемое волокно помещается в кювету с иммерсионной жидкостью [6]. Интерферограммы записываются методом двух экспозиций: сначала на цифровую камеру записывается начальная голограмма кюветы с иммерсионной жидкостью, второе экспонирование проводится после того, как волокно помещается в кювету. Интерференционные полосы получают методом вычитания двух видеоизображений с помощью программного продукта MATLAB, анализ интерферограмм возможно проводить не только с описанного корреляционного метода, но и с помощью специального программного обеспечения [7].

Заключение

Дан обзор метода цифровой голографической интерферометрии для исследования

микросред, путем анализа интерферограмм, полученных с помощью адаптированного макета голографического интерференционного микроскопа с цифровой регистрацией и получения интерферограмм методом вычитания. Чувствительность микроскопа зависит от характеристик ПЗС-матрицы и оптической системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков И.В., Москвитина Н.В., Подобаев В.И., Бучнев В.А. Компьютерная оптика и цифровая голография. Современные информационные технологии. 2007. № 5. С. 63-65.

2. Вуец Т.Р., Беляева В.Е. Введение в цифровую голографию. В сборнике: Перспективы развития фундаментальных наук. Сборник научных трудов XI Международной конференции студентов и молодых ученых под редакцией Е.А. Вайтулевич; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2014. С. 1018-1020.

3. Рябухо В.П., Горбатенко Б.Б., Максимова Л.А. Цифровая оптическая голография с виртуальной опорной волной. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2008. Т. 8. № 2. С. 11-23.

4. Каленков С.Г., Каленков Г.С., Штанько А.Е. Пространственно-спектральная цифровая голография микрообъектов в низкокогерентном свете. Радиотехника и электроника. 2013. Т. 58. № 12. С. 1243.

5. Демин В.В., Каменев Д.В. Критерии качества изображений в цифровой голографии частиц. Оптический журнал. 2012. Т. 79. № 4. С. 17-21.

6. Ган М.А., Ган Я.М., Чертков А.С. Восстановление топографии волнового фронта по интерферограмме с помощью метода цифровой голографии. Оптический журнал. 2006. Т. 73. № 7. С. 55-59.

7. Шаталов И.Г., Пен Е.Ф. Методы цифровой голографии для зондирования рельефных объектов и объемов частиц. Интерэкспо Гео-Сибирь. 2007. Т. 4. № 2. С. 29-34.