

References:

1. Gaponenko, S.V. Introduction to Nanophotonics / Cambridge University Press, Cambridge, 2010. – 340 p.
2. Knowles, K.E. Chemical control of the photoluminescence of CdSe quantum dot-organic complexes with a series of para-substituted aniline ligands / K.E. Knowles, D.B. Tice, E.A. McArthur, G.C. Solomon, E.A. Weiss // J. Am. Chem. Soc. – 2010. – Vol. 132. – P. 1041–1050.
3. Knowles, E.A. Colloidal quantum dots: Think outside the (particle-in-a-) box / K.E. Knowles, M.T. Frederick, D.B., Tice, A.J. Morris-Cohen, E.A. Weiss // J. Phys. Chem. Lett. – 2012. – Vol. 3. – P. 18–26.
4. Zenkevich, E. Self-Assembled Organic-Inorganic Nanostructures: Optics and Dynamics / E. Zenkevich, C. von Borczyskowski // Pan Stanford Publishing Pte. Ltd., 2017. – 408 p.
5. Zenkevich, E. Surface energy states and photoluminescence quenching in nanostructures based on CdSe/ZnS quantum dots and porphyrin molecule: ensemble and single object detection / E. Zenkevich, A. Stupak, C. Goehler, C. Krasselt, C. von Borczyskowski // Proceedings of the International Conference on Physics, Chemistry and Applications of Nanostructures “Nanomeeting-2017”. Reviews and Short Notes (30 May – 2 June 2017, Minsk, Belarus; V.E. Borisenko, S.V. Gaponenko, V. S. Gurin, C.H. Kam, Eds.), World Scientific Publishing Co. – 2017. – P. 236–239.
6. Stupak, A. The nature of non-FRET photoluminescence quenching in nanoassemblies from semiconductor quantum dots and dye molecules / A. Stupak, T. Blaudeck, E. Zenkevich, S. Krause, C. von Borczyskowski. – Phys. Chem. Chem. Phys. – 2018. – Vol. 20. – P. 18579–18600.
7. Wuister, S. F. Temperature Antiquenching of the Luminescence from Capped CdSe Quantum Dots / S.F. Wuister, A. van Houselt, C. de Mello Donega, D. Vanmaekelbergh, A. Meijerink // Angew. Chem. Int. Ed. – 2004. – Vol. 43. – P. 3029–3033.

УДК 535.42

Н.Т. Авласевич, А.М. Ляликов
(Гродно, Беларусь)

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Рассмотрены особенности записи опорной голограммы периодической структуры, которые позволяют при реализации метода голографической интер-

ферометрии реального времени регулировать чувствительность измерений. Метод используется для исследования динамики периодической структуры объекта. Представлены экспериментальные результаты опробования предложенного метода.

Ключевые слова: голографическая интерферометрия, чувствительность измерений, динамическая периодическая структура, спектральная компонента, интерференционная картина.

The features of the recording of the reference hologram of a periodic structure are considered, which make it possible to adjust the measurement sensitivity when implementing the method of real-time holographic interferometry. The method is used to study the dynamics of the periodic structure of an object. The experimental results of testing the proposed method are presented.

Keywords: holographic interferometry, measurement sensitivity, dynamic periodic structure, spectral component, interference pattern.

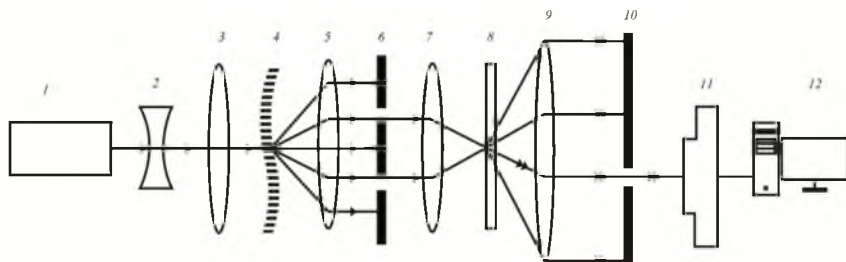
Объекты с перестраиваемой периодической структурой, параметры которой изменяются не только в пространстве, но и во времени исследуются и используются в технике. К таким объектам относятся фотоиндуцированные доменные структуры, электрически управляемые жидкокристаллические элементы, динамические магнитные кристаллы и т. п. [1–3]. Технологии изготовления структурированных объектов, механизмы взаимодействия оптического излучения с такими структурами, а так же поведение самих структур в пространстве и во времени актуальны.

Ранее были предложены способы визуализации макроскопических дефектов периодических структур, проявляющихся как в искривлении поверхности, так и в отклонении их от периодичности [4–6]. Способы основаны на формировании интерференционных картин при использовании световых волн, дифрагированных на периодических структурах исследуемого объекта либо его снимках. Важным при исследовании периодических структур остается вопрос по регулированию чувствительности измерений при формировании интерференционных картин. Для фазовых объектов чувствительность измерений регулировалась только на стадии оптической обработки голограмм за счет использования высших гармоник волн, дифрагированных на голограмме [7; 8]. При исследовании периодических структур повышение чувствительности измерений достигалось либо при формировании интерференционных картин высшими гармониками волн, дифрагированных непосредственно на периодической структуре [4], либо за счет оптической обработки снимков таких объектов [9; 10].

В данной работе рассмотрены особенности записи опорной голограммы периодической структуры, позволяющие при реализации метода

голографической интерферометрии реального времени регулировать чувствительность измерений при исследовании поведения периодической структуры объекта во времени.

На рисунке приведена оптическая схема, поясняющая запись и восстановление голограммы при реализации метода голографической интерферометрии периодических структур в реальном времени. Лазерным источником света 1 и телескопической оптической системой 2,3 формируется широкий коллимированный пучок света, который освещает исследуемую пропускающую периодическую структуру 4. Пропускающая периодическая структура по математическому описанию коэффициента пропускания подобна дифракционному элементу [11], с тем отличием, что ее пространственная частота и форма поверхности могут зависеть от времени.



Оптическая схема, поясняющая запись и восстановление опорной голограммы при реализации метода голографической интерферометрии периодических структур:

- 1 – лазерный источник света; 2 – рассеивающая линза; 3, 5, 7, 9 – объективы;
- 4 – исследуемая периодическая структура; 6, 10 – экраны; 8 – голограмма;
- 11 – цифровая фотокамера; 12 – персональный компьютер

При освещении периодической структуры 4 плоской волной на выходе структуры будет наблюдаться набор дифракционных компонент. Направления распространения данных дифракционных компонент определяются пространственной частотой структуры ξ и номером порядка дифракции m , принимающим целые как положительные, так и отрицательные значения, включая нуль [12]. Таким образом, при освещении периодической структуры плоской волной в $+m$ -м порядке дифракции будет распространяться световая волна с пространственной частотой $m\xi$, при этом волновой фронт ее будет искажен вследствие отклонения пространственной частоты структуры в локальной зоне от некоего среднего значения ξ , также из-за искривления ее поверхности. Степень искажения волнового фронта данными факторами периодической структуры прямо пропорциональна номеру порядка дифракции спектральной компоненты [7–10]. Эта особенность может быть

использована для регулирования чувствительности измерений при применении голографической интерферометрии для исследования динамических периодических структур.

Экран *б* (рисунок) выполняет функцию фильтрующей маски, выделяющей посредством отверстий в непрозрачном экране пару спектральных компонент, записывающих голограмму *8*, в плоскости, оптически сопряженной с периодической структурой *4* объективами *5* и *7*. Ширина отверстия в экране *б* должна быть такой, чтобы не происходило подрезание частотного спектра выделяемых компонент. Для записи голограммы можно использовать любую пару спектральных компонент, соответствующим волнам, дифрагированным в *l*-й и *k*-й порядки дифракции. Соответственно, коэффициент пропорциональности (*l-k*) показывает во сколько раз будет усилена фаза в формируемой голограмме периодической структуры. Данная зависимость и может быть использована для регулирования чувствительности измерений при изучении динамики периодической структуры.

Полученная интерференционная картина может быть использована как для записи опорной голограммы на светочувствительном материале при реализации способа интерферометрии в реальном времени [7; 8], а также в качестве цифровой голограммы при реализации способа цифровой голографической интерферометрии [13].

Для достижения максимальной чувствительности измерений опорная голограмма записывается с использованием пары комплексно-сопряженных дифракционных компонент, дифрагированных на исследуемой периодической структуре в *+l*-й и *-l*-й порядки. При такой записи голограммы ее пространственная частота соответственно увеличивается, но это может привести к ограничению применения цифровой записи голограммы из-за сравнительно низкого разрешения приемных светочувствительных матриц по сравнению с классическими светочувствительными материалами [14]. Поэтому целесообразнее опорную голограмму записывать на классический светочувствительный материал [15], а цифровую обработку применять на стадии формирования интерференционных картин с использованием такой опорной голограммы.

Для получения интерференционной картины, визуализирующей динамику поведения структуры в реальном времени, опорная голограмма освещается теми же спектральными компонентами, что и при записи опорной голограммы. В этом случае интерференционная картина образуется при наложении пары световых волн: одной из прямопрошедших опорную голограмму, а другой, дифрагированной на голограмме в *+1*-й или *-1*-й порядков. Такая пара волн распространяется в одном направлении и выделяется

отверстием в экране 10 (рис. 1), установленном в задней фокальной плоскости объектива 9, и в плоскости, оптически сопряженной с голограммой 8, формирует интерференционную картину с повышением чувствительности измерений в $(l-k)$ в полосах бесконечной ширины. Чувствительность измерений при обработке такой картины повышается в $|l-k|$ раз. Данная картина регистрируется цифровой камерой 11.

При опробовании метода голографической интерферометрии динамических периодических структур в качестве объекта была использована двумерная периодическая структура, представляющая собой крестообразную сетку. Опорная голограмма была записана с использованием волн, дифрагированных на исследуемой периодической структуре (вертикальная составляющая) в ± 1 -е порядки. Снимки серии интерференционных картин в полосах бесконечной ширины получены с двукратным повышением чувствительности, отображали поведение динамики в разности фаз при нарастающей деформации поверхности исследуемой двумерной периодической структуры. Деформация поверхности была вызвана поступательным перемещением острого стержня, контактирующего с поверхностью структуры. Важной особенностью регулировки чувствительности измерений при исследовании динамических периодических структур методом голографической интерферометрии, является то, что чувствительность определяется для интерферометрии реального времени на стадии записи опорной голограммы.

Литература:

1. Устинова, И.А. Динамический магнетонный кристалл на основе феррит-сегнеэлектрической слоистой структуры / И.А. Устинова, А.А. Никитин, А.Б. Устинов // ЖТФ. – 2016. – Т. 86, № 3. – С. 155–158.
2. Кабанова, О.С. Электрически управляемые волноводные жидкокристаллические элементы / О.С. Кабанова, Е.А. Мельникова, И.И. Оленская [и др.] // Письма в ЖТФ. – 2014. – Т. 40, № 14. – С. 30–35.
3. Голенищев-Кутузов, А.В. Перестраиваемый акустический резонатор на периодических доменных структурах / А.В. Голенищев-Кутузов, В.А. Голенищев-Кутузов, Р.И. Калимуллин [и др.] // Письма в ЖТФ. – 2012. – Т. 38, № 18. – С. 1–6.
4. Ляликов, А.М. Использование систем оптической диагностики фазовых объектов для дефектоскопии периодических структур // А.М. Ляликов, М.Ю. Серенко // Оптический журнал. – 2000. – Т. 67, № 6. – С. 111–114.
5. Грошенко, Н.А. Оптические вихри в поле рассеяния магнитных доменных голограмм / Н.А. Грошенко, О.С. Макашиц, А.В. Воляр // ЖТФ. – 1998. – Т. 68, № 12. – С. 54–58.

6. Авласевич, Н.Т. Визуализация дефектов отдельной компоненты составного дифракционного оптического элемента / Н.Т. Авласевич, А.М. Ляликов // Проблемы физики, математик и механики. – 2017. – № 3. – С. 7–12.
7. Бекетова, А.К. Голографическая интерферометрия фазовых объектов./ А.К. Бекетова, А.Ф. Белозеров, А.Н. Березкин [и др.] – Л. : Наука, 1979. – 232 с.
8. Вест, Ч. Голографическая интерферометрия / Ч. Вест. – М. : Мир, 1982. – 504 с.
9. Ляликов, А.М. Визуализация формы поверхности объектов с периодической структурой / А.М. Ляликов // Оптический журнал. – 1994. – № 5. – С. 23–25.
10. Ляликов, А.М. Визуализация макроскопических дефектов поверхности объекта с периодической структурой / А.М. Ляликов // Оптический журнал. – 1995. – № 1. – С. 28–31.
11. Бобров, С.Т. Оптика дифракционных элементов и систем / С.Т. Бобров, Г.И. Грейсух, Ю.С. Туркевич. – Л. : Машиностроение, Ленинградское отделение 1986. – 223 с.
12. Кольер, Р. Оптическая голография / Р. Кольер, К. Беркхарт, Л. Лин. – Москва : Мир, 1973. – 686 с.
13. Schnars, U. Digital Holography / U. Schnars, W. Jueptner. – Berlin : Springer Verlag., 2004. – 164 p.
14. Гусев, М.Е. Методы цифровой голографической интерферометрии и их применение для измерения наноперемещений/ М.Е. Гусев, А.А. Воронин, В.С. Гуревич и др. // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2011. – Т. 2, В. 1–С. 23–39.
15. Барачевский, В.А. Современное состояние разработки светочувствительных сред для голографии (обзор) / В.А. Барачевский // Оптика и спектроскопия. – 2018. Т. – 12. В. 3. – С. 371–399.

УДК 538.958

Е.М. Гаврищук (Н. Новгород, Россия),
С.С. Бабаев, М.А. Мусаев, И.И. Аббасов,
Дж.И. Гусейнов (Баку, Азербайджан)

КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В КРИСТАЛЛАХ CVD ZNSE

Приводятся данные измерений спектров комбинационного рассеяния света кристаллов ZnSe, полученных методом химического осаждения из газовой фазы в диапазоне 20–1000 см⁻¹ для различных геометрий рассеяния при комнатной температуре.

Ключевые слова: селенид цинка, область гомогенности, комбинационное рассеяние света, фоновые моды.