

Краткие сообщения

07;12

Определение макродефектов пространственно-периодических структур с использованием двухзеркального интерферометра

© И.А. Лявшук, А.М. Ляликов

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы,
230023 Гродно, Белоруссия
e-mail: lyalikov@inbox.ru

(Поступило в Редакцию 25 января 2005 г.)

Рассмотрена схема двухзеркального интерферометра для определения макродефектов пространственно-периодических структур. Показано, что такая схема позволяет получать как двухлучевые интерферограммы, так и сдвиговые интерферограммы, визуализирующие поведение соответственно функции и ее производной, отображающих макродефект исследуемой структуры.

PACS: 61.18.-j

В последнее время отмечается особый интерес к различным объектам, характеризующимися пространственно-периодической структурой. Это биоткани, магнитные пленки с полосовой доменной структурой, поверхности твердых материалов после воздействия на них лазерного излучения, жидкости в интерференционном поле лазерного излучения и т.д. [1–5]. Наличие периодической структуры таких объектов требует и определения различного рода макроскопических ее дефектов. Последние проявляются как в отклонении периода структуры от некоего среднего значения, так и в отклонении профиля поверхности объекта от эталонного. Такого рода макродефекты, свойственные практически всем объектам с пространственно-периодической структурой [1–5], могут быть обнаружены и измерены муаровыми, интерференционными или теневыми методами [1,6–9]. Причем показано [9], что для выявления макродефектов пространственно-периодических структур пропускающего типа с успехом можно использовать оптические системы визуализации прозрачных объектов, например теневой прибор ИАБ-451. Использование различных приемных приставок позволяет получать интерференционные картины, а также сдвиговые интерферограммы и теневые картины, визуализирующие поведение как функции, так и ее производных, отображающих макродефекты пространственно-периодических структур.

В данной работе предложено для определения макродефектов пространственно-периодических структур использовать двухзеркальный интерферометр с системой пространственной фильтрации, работающий в отраженном свете и позволяющий без использования дополнительных оптических элементов получать как интерферограммы, так и сдвиговые интерферограммы, визуализирующие макродефекты периодических структур.

Ранее двухзеркальный интерферометр использовался для получения сдвиговых интерферограмм фазовых объектов и позволял регулировать величину бокового сдвига и настройку интерференционных полос [10].

На рис. 1, *a* изображена оптическая схема двухзеркального интерферометра для исследования пространственно-периодических структур пропускающего типа в режимах регистрации двухлучевых интерферограмм и интерферограмм бокового сдвига (рис. 1, *b*). Исследуемая пространственно-периодическая структура 1, освещается коллимированным пучком когерентного света. Пропускание $\tau(x, y)$ многомерной структуры можно представить в общем виде, как произведения функций, описывающих пропускание N элементарных структур

$$\tau(x, y) = \tau_1(x, y)\tau_2(x, y) \dots \tau_N(x, y), \quad (1)$$

где система координат xu совмещена с исследуемой пространственно-периодической структурой.

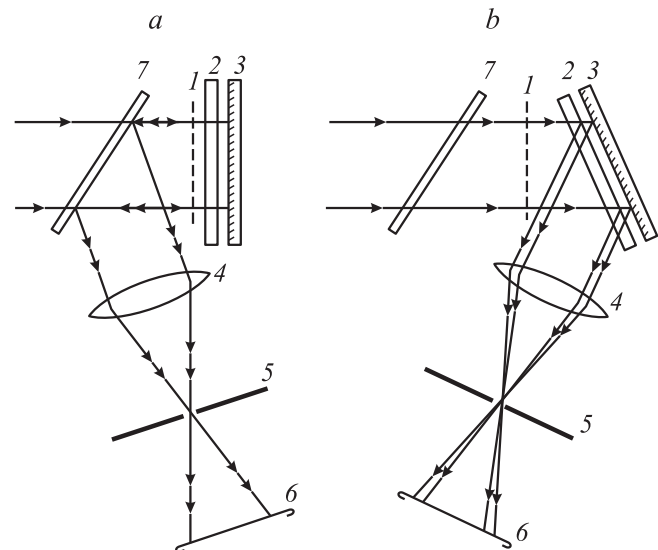


Рис. 1. Оптическая схема двухзеркального интерферометра в режимах получения двухлучевых интерферограмм (*a*) и сдвиговых интерферограмм (*b*).

Пропускание отдельной l -й элементарной структуры можно представить в виде

$$\tau_l(x, y) = \tau_{l0} + \sum_{n=1}^{+\infty} a_{nl} \cos \left[\frac{2\pi nx}{T_l} + n\varphi_l(x, y) \right], \quad (2)$$

где τ_{l0} — постоянная составляющая амплитудного пропускания, a_{nl} — коэффициенты, T_l — период l -й элементарной пространственно-периодической структуры, $\varphi_l(x, y)$ — функция, описывающая отклонение периода элементарной структуры от среднего значения T_l или ее поверхности от эталонной плоскости и отображающая макроскопический дефект структуры. Для упрощения описания методики направление осей системы координат выбрано так, что ось y параллельна штрихам l -й элементарной структуры.

На выходе исследуемой пространственно-периодической структуры l будет наблюдаться довольно сложная дифракционная картина [8].

Для получения двухлучевых интерферограмм (рис. 1, *a*) полупрозрачным зеркалом 2 и зеркалом 3 в обратном ходе через исследуемую периодическую структуру l дифрагированные световые пучки направляются на полупрозрачное зеркало 7, и формируют в плоскости диафрагмы 5, установленной в задней фокальной плоскости объектива 4, две картины дифракционных систем максимумов. Положение этих систем максимумов относительно отверстия в диафрагме 5 регулируется элементами 2, 3 для каждой системы независимо. Следует отметить, что для устранения ложных картин дифракционных максимумов желательно нерабочие поверхности полупрозрачных зеркал 2, 7 просветлять или использовать зеркала с подложками в виде клина.

Для получения двухлучевой интерферограммы, ход полос в которой отображает пространственное положение и величину макродефекта, например, l -й элементарной периодической структуры, зеркалами 2, 3 направляются в отверстие диафрагмы 5 волны, дифрагированные на ней в $\pm n$ -е порядки:

$$B_{nl}(x, y) = b_{nl} \exp[in\varphi_l(x, y)], \quad (3)$$

$$B_{nl}^*(x, y) = b_{nl} \exp[-in\varphi_l(x, y)], \quad (4)$$

где b_{nl} — действительная амплитуда.

В этом случае распределение освещенности в двухлучевой интерференционной картине, наблюдаемой в плоскости b , можно представить, как

$$I_l(x, y) \sim 1 + \cos \left[2\pi \left(\frac{x}{P_x} + \frac{y}{P_y} \right) + 2n\varphi_l(x, y) \right], \quad (5)$$

где величины P_x и P_y характеризуют ширину интерференционных полос настройки и определяются наклоном и ориентацией световых пучков (3), (4) друг относительно друга. В случае их параллельности в плоскости b наблюдается интерференционная картина с настройкой на бесконечно широкую полосу ($P_x, P_y \rightarrow \infty$).

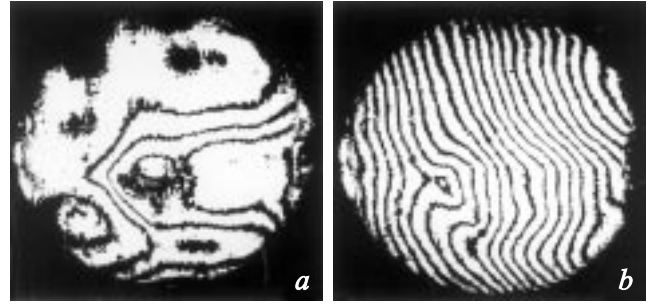


Рис. 2. Двухлучевые интерферограммы макродефекта исследуемой крестообразной металлической сетки с настройкой на бесконечно широкую полосу (*a*) и полосы конечной ширины (*b*).

Вследствие использования при получении двухлучевой интерференционной картины (5) комплексно сопряженных n -х дифракционных порядков чувствительность метода повышена в $2n$ раза.

На рис. 2 представлены двухлучевые интерферограммы исследуемой крестообразной металлической сетки, полученные в схеме (рис. 1, *a*) с различной настройкой интерференционных полос. Для визуализации поведения макродефектов была выбрана элементарная пространственно-периодическая структура с вертикальной ориентацией штрихов. Величина периода структуры составляла ~ 0.1 mm. При получении двухлучевых интерферограмм использовались волны, дифрагированные во 2-е порядки, что повысило в 4 раза чувствительность метода определения функции $\varphi_l(x, y)$, отображающей макродефект элементарной структуры.

При исследовании пространственно-периодической структуры в режиме регистрации интерферограмм бокового сдвига (рис. 1, *b*) интерференционная картина образуется при использовании двух одинаковых волн, дифрагированных на элементарной структуре в порядке одного знака. При получении сдвиговой интерферограммы величина бокового сдвига задается изменением расстояния между зеркалами 2, 3 и их наклоном по отношению к плоскости, исследуемой периодической структуры. В этом случае в плоскости b (рис. 1, *b*) образуется интерференционная картина при наложении волн $B_{nl}(x, y)$ и $B_{nl}(x + \Delta s_1, y + \Delta s_2)$, где Δs_1 и Δs_2 — сдвиги интерферирующих пучков друг относительно друга вдоль осей x и y соответственно. При получении сдвиговых интерферограмм (рис. 1, *b*) схема настраивается обычно так, чтобы сдвиг интерферирующих пучков происходил только вдоль одной из осей. Например, если сдвиг происходит вдоль оси x , и его величина значительно меньше поперечных размеров макродефекта, то распределение освещенности в такой интерферограмме бокового сдвига можно представить, как

$$I_{\Delta l}(x, y) \sim 1 + \cos \left[2\pi \left(\frac{x}{P_x} + \frac{y}{P_y} \right) + n\Delta s_1 \frac{\partial \varphi(x, y)}{\partial x} \right]. \quad (6)$$

В этом случае, в отличие от вышерассмотренного способа визуализации макродефектов, отображаемых по-

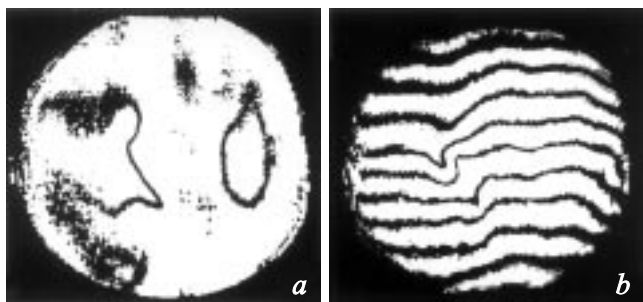


Рис. 3. Интерферограммы бокового сдвига с настройкой на бесконечно широкую полосу (*a*) и полосы конечной ширины (*b*).

ведением функции $\varphi_l(x, y)$, интерферограмма бокового сдвига позволяет определить производную от функции, т. е. $\partial\varphi(x, y)/\partial x$. Чувствительность метода определяется величиной $n\Delta s_1$.

На рис. 3 представлены интерферограммы бокового сдвига исследуемой пространственно-периодической структуры. Величина бокового сдвига вдоль оси x составляла ~ 2 mm при диаметре светового пучка 40 mm.

Настройка на бесконечно широкую полосу (рис. 3, *a*) и полосы конечной ширины (рис. 3, *b*) осуществлялась наклоном одного из зеркал 2 или 3. Следует отметить, что при получении интерферограмм бокового сдвига (рис. 3) так же как и в случае получения двухлучевых интерферограмм (рис. 2) использовалась та же элементарная пространственно-периодическая структура с вертикальной ориентацией штрихов.

Таким образом, рассмотренная схема двухзеркального интерферометра позволяет при исследовании пространственно-периодических структур сравнительно просто, без использования дополнительных оптических элементов получать как двухлучевые интерференционные картины, так и сдвиговые интерферограммы. Полученные серии интерференционных картин с различной настройкой полос и визуализирующие поведение функции и ее производных, отображающих макродефект элементарной структуры, дополняют друг друга и значительно повышают информативность исследования.

Список литературы

- [1] Малов А.Н., Малов С.Н., Феценко В.С. // Тр. XXV школы-симпозиума по когерентной оптике и голографии. Ярославль. 1997. С. 207–213.
- [2] Грошенко Н.А., Макаши О.С., Воляр А.В. // ЖТФ. 1999. Т. 68. Вып. 12. С. 54–58.
- [3] Фаттахов Я.В., Галяутдинов М.Ф., Львова Т.Н. и др. // Опт. и спектр. 2000. Т. 89. № 1. С. 150–156.
- [4] Долгаев С.И., Кириченко Н.А., Симакин А.В. и др. // Квант. электр. 2004. Т. 34. № 8. С. 771–773.
- [5] Афанасьев А.А., Рубинов А.Н., Курочкин Ю.А. и др. // Квант. электр. 2003. Т. 33. № 3. С. 250–254.
- [6] Дюрелли А., Паркс В. Анализ деформаций с использованием муара. М.: Мир, 1974. 251 с.

- [7] Wadsworth N., Marchant M., Billing B. // Optical and Laser Technology. 1973. Vol. 5. N 3. P. 119–123.
- [8] Ляликов А.М., Серенко М.Ю. // ЖТФ. 1999. Т. 69. Вып. 10. С. 126–130.
- [9] Ляликов А.М., Серенко М.Ю. // Оптич. журнал. 2000. Т. 67. № 6. С. 111–114.
- [10] Оптический производственный контроль / Под ред. Д. Малякары. М.: Машиностроение, 1985. 400 с.