

07

## **Достижение высокой чувствительности измерений в оптических системах перезаписи голограмм некогерентным светом**

© А.М. Ляликов

Гродненский государственный университет им. Я.Купалы

Поступило в Редакцию 12 мая 1997 г.

Впервые показана возможность перезаписи голограмм одним пучком некогерентного света без роста частоты несущих полос перезаписанных голограмм. Это снимает ограничение на количество циклов перезаписи, а значит позволяет достигать максимальной чувствительности измерений.

Метод повышения чувствительности измерений, основанный на перезаписи голограмм одним пучком света [1,2], несмотря на возможность использования некогерентного источника света, обладает существенным недостатком — это ограничение числа циклов перезаписи из-за роста частоты несущих полос перезаписанных голограмм. При использовании двух когерентных или комбинации двух когерентных и одного некогерентного пучков [3] этот недостаток исключается, однако при этом ухудшается качество конечных интерферограмм из-за когерентных шумов. Число циклов перезаписи можно увеличить и при использовании только некогерентного света, но для этого необходимо одновременно перезаписывать несколько эталонных голограмм [4].

В данной работе показана возможность исключения роста частоты несущих полос перезаписанных голограмм в оптических системах перезаписи одним пучком некогерентного света. При этом снимается ограничение на количество циклов перезаписи голограмм, а значит достигается максимальная чувствительность измерений.

Для реализации данного метода предлагается в оптическую систему перезаписи дополнительно ввести пропускающую дифракционную решетку с периодом полос  $T$ , лежащим в пределах от  $T_0$ , до  $\frac{1}{2}T_0$ , где  $T_0$  — период полос исходной перезаписываемой голограммы. Ранее опти-

ческая обработка совмещенных голограммы и дифракционной решетки использовалась в схемах восстановления интерферограмм [5].

Предположим, что зарегистрирована голограмма при выполнении линейных условий записи. Амплитудное пропускание исходной голограммы

$$\tau_0(x, y) \sim 1 + \cos \left[ \frac{2\pi x}{T_0} + \varepsilon(x, y) \right], \quad (1)$$

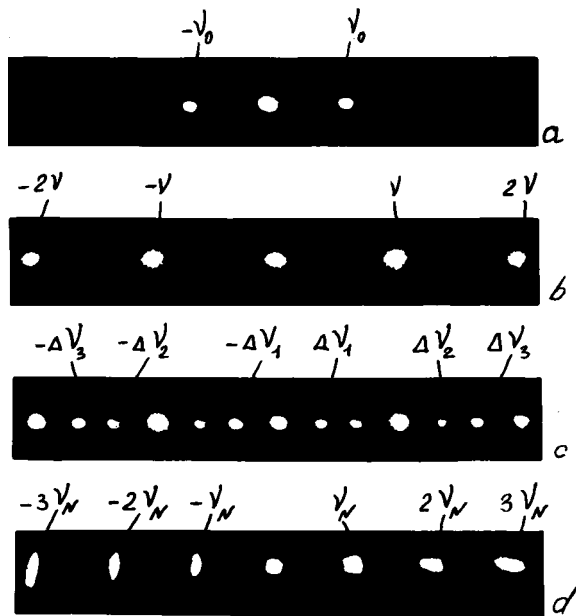
где  $\varepsilon(x, y)$  — изменения фазы, вызванные исследуемым объектом. Голограмма (1) совмещается с прозрачной дифракционной решеткой с пропусканием

$$\tau(x, y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \exp \left[ in \frac{2\pi x}{T} \right], \quad (2)$$

где  $c_n$  — коэффициенты,  $n = 0, 1, 2, \dots$ , так, чтобы их несущие полосы были параллельны. Совмещенные голограмма и дифракционная решетка устанавливаются в схему перезаписи. При освещении их по нормали коллимированным пучком света распределение комплексных амплитуд дифрагированных волн

$$A(x, y) \sim \tau_0(x, y)\tau(x, y). \quad (3)$$

На рисунке приведены дифракционные спектры, наблюдаемые на фильтрующей диафрагме, установленной в задней фокальной плоскости объектива, оптической системы перезаписи. Первые две фотографии соответствуют дифракционным спектрам голограммы (см. рисунок, *a*) и пропускающей дифракционной решетки (см. рисунок, *b*). В эксперименте периоды голограммы и решетки были подобраны так, что  $T_0 = \frac{3}{2}T = 0.04 \text{ mm}$ . Относительно центрального нулевого порядка дифракции в спектре наблюдаются дифракционные максимумы волн, дифрагированных на голограмме в  $\pm$  первые порядки, с пространственными частотами  $\nu_0$  и  $-\nu_0$  (см. рисунок, *a*). Так как в эксперименте использовалась фазовая дифракционная решетка, то кроме  $\pm$  первых порядков дифракции волн с пространственными частотами  $\nu$  и  $-\nu$  наблюдались и высшие (см. рисунок, *b*). В спектре совмещенных голограммы и дифракционной решетки (см. рисунок, *c*) кроме дифракционных максимумов, соответствующих волнам, испытавшим дифракцию только на голограмме или только на дифракционной решетке, присутствуют



дополнительные дифракционные максимумы. Эти дифракционные максимумы соответствуют волнам, испытавшим двойную дифракцию на совмещенных голограмме и дифракционной решетке. Пространственные частоты этих волн определяются из (3) как  $\Delta\nu_1 = \nu - \nu_0$ ,  $\Delta\nu_2 = 2\nu - \nu_0$ ,  $\Delta\nu_3 = \nu + \nu_0$ . В случае нелинейной регистрации исходной голограммы (1) спектр совмещенных голограммы нелинейного вида и дифракционной решетки значительно усложняется. Частоты  $\nu_0$  и  $\nu$  связаны с периодами как  $\nu_0 = 1/T_0$  и  $\nu = 1/T$ . Волны, испытавшие двойную дифракцию, в отличие от волн с пространственными частотами, кратными  $\nu$ , имеют искажения фазы  $\varepsilon(x, y)$ .

Особый интерес представляют волны с пространственными частотами  $-\Delta\nu_1$  и  $\Delta\nu_1$  (см. рисунок, c). На основании (3) с учетом (1) и (2) можно показать, что комплексные амплитуды их:

$$\begin{aligned} A_1(x, y) &= a_1 \exp \{i[2\pi(\nu - \nu_0)x - \varepsilon(x, y)]\}, \\ A_1^*(x, y) &= a_1 \exp \{-i[2\pi(\nu - \nu_0)x - \varepsilon(x, y)]\}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $a_1$  — действительная амплитуда. При выделении фильтрующей диафрагмой этих волн в плоскости регистрации с соблюдением линейных условий записи перезаписывается новая голограмма с амплитудным пропусканием

$$\tau_1(x, y) \sim 1 + \cos \left[ \frac{2\pi x}{T_1} + 2\varepsilon(x, y) \right]. \quad (5)$$

Можно показать, что если период  $T$  лежит в пределах от  $T_0$  до  $\frac{1}{2}T_0$ , то на каждый четный цикл перезаписи период полос перезаписанной голограммы  $T_N$  будет равен периоду полос  $T_0$  исходной голограммы (1). Если  $\frac{T_0}{T} = \frac{3}{2}$ , то после каждого цикла перезаписи  $T_N = T_0$ .

Таким образом, после  $N$  циклов перезаписи ( $N = 1, 2, 3, \dots$ ) регистрируется голограмма с пропусканием

$$\tau_N(x, y) \sim 1 + \cos \left[ \frac{2\pi x}{T_N} + 2^N \varepsilon(x, y) \right]. \quad (6)$$

Чувствительность измерений при оптической обработке такой голограммы повышена в  $2^N$  раз без роста частоты несущих полос. Следует заметить, что на конечном этапе перезаписи для дополнительного повышения чувствительности измерений конечная перезаписанная голограмма может быть зарегистрирована и в нелинейных условиях.

На рисунке, *d* приведена фотография дифракционного спектра конечной, перезаписанной четыре раза ( $N = 4$ ) голограммы, подтверждающая работоспособность предложенного метода достижения высокой чувствительности измерений в оптических системах перезаписи некогерентным светом. При повышении чувствительности измерений в 16 раз период полос голограммы остался прежним.

## Список литературы

- [1] Швидер Ж. // Матер. III Всес. школы по голографии. Л., 1972. С. 247–254.
- [2] Зейликович И.С. // Опт. и спектр. 1980. Т. 49. № 2. С. 396–398.
- [3] Зейликович И.С., Ляликов А.М. // УФН. 1991. Т. 161. № 1. С. 143–164.
- [4] Зейликович И.С., Ляликов А.М. // ОМП. 1987. № 9. С. 31–33.
- [5] Вест Ч. Голографическая интерферометрия. М.: Мир, 1982. 504 с.