

вышениях порогового тока с частотой свыше 5 ПГц в режиме одной продольной моды.

Авторы благодарят С.Д. Якубовича и А.Ф. Солодкова за помощь в работе и интерпретации результатов экспериментов.

Л и т е р а т у р а

- [1] Cheng W., Su C., Buehring K., Ure J. et al. - Appl. Phys. Lett., 1987, v. 51, N 3, p. 155.
- [2] Cheng W., Su C., Buehring K., Chein C. et al. - Appl. Phys. Lett., 1986, v. 49, p. 1416.
- [3] Sakakibara Y., Higuchi H., Omura E. et al. - IEEE J. Lightwave Techn., 1985, v. LT-3, p. 978.
- [4] Cheng J., Forrest S., Tell B. et al. - Appl. Phys., 1985, v. 58, p. 1780.
- [5] Bowers J., Hemenway B., Gnauk A., Wiet D. - IEEE J. Quant. Electr., 1986, v. QE-22, N 6, p. 833.
- [6] Tucker R., Kaminov I. - J. of Lightwave Techn., 1984, v. LT-2, N 4, p. 385.

Московский
инженерно-физический
институт

Поступило в Редакцию
25 апреля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 17

12 сентября 1988 г.

ЗАПИСЬ ГОЛОГРАММ НА ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ КРИСТАЛЛАХ С МОДУЛИРОВАННЫМ ВО ВРЕМЕНИ ПУЧКОМ

В.П. Гарашук, Т.П. Гарашук, В.В. Ивахник,
А.А. Камшлин

В последнее время в ряде работ [1, 2] продемонстрирована перспективность использования динамических голограмм на фото-рефрактивных кристаллах (ФРК) в голографической интерферометрии. Однако в большинстве случаев в известных интерферометрических схемах ФРК просто заменяли галлойдосеребряные среды. Учет особенностей голографической записи, присущих ФРК, выявляет новые интерферометрические схемы с лучшими параметрами. Так, использование явления самодифракции позволило предложить интерферометрическую схему [3], обладающую более высокой чувствительностью к малым амплитудам колебаний. В данной работе демонстрируются

особенности голографической интерферометрии изменяющихся во времени световых полей, вытекающие из динамического характера голографической записи на ФРК (одновременность процессов записи, считывания и стирания голограмм). Особое внимание уделяется случаю соизмеримости временного периода движения интерференционной картины на кристалле с характерным временем τ записи голограмм.

Предположим, что запись динамической голограммы на ФРК осуществляется модулированными во времени опорным и объектным пучками, а считывание — по методу обращения волнового фронта постоянным во времени считывающим пучком. Тогда амплитуду восстановленного с голограммы пучка без учета пространственной части можно записать в виде

$$A_B(t) = A_0 \int_0^t \exp\left(-\frac{t-t'}{\tau}\right) A_{оп}^*(t') A_{об}(t') dt', \quad (1)$$

где A_0 — постоянная от времени, зависящая от параметров среды и излучения, $A_{оп}$ и $A_{об}$ — комплексные амплитуды опорной и объектной волн соответственно.

При записи выражения (1) мы предположили экспоненциальный характер временного отклика ФРК на запись голограммы, что вытекает из двухуровневой модели процесса голографической записи на ФРК [4]. В случае модуляции фазы опорного и объектного лучей по гармоническому закону с разными частотами (ω_1 и ω_2) и разными амплитудами модуляции (φ_1 и φ_2) выражение (1) преобразуется к следующему виду для установившегося процесса ($t \gg \tau$):

$$A_B(t) = A_0 \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \sum_{n_2=-\infty}^{\infty} \times \\ \times i^{(n_1-n_2)} J_{n_1}(\varphi_1) J_{n_2}(\varphi_2) \frac{\exp i(n_1\omega_1 - n_2\omega_2)t}{1 + i(n_1\omega_1 - n_2\omega_2)\tau}, \quad (2)$$

где J_{n_1} , J_{n_2} — функции Бесселя порядка n_1 и n_2 соответственно.

При $\omega_1, \omega_2 \gg \frac{1}{\tau}$ происходит обычная запись усредненных во времени голографических интерферограмм, интенсивность восстановленного изображения будет равна квадрату функции Бесселя нулевого порядка, аргумент которой зависит от амплитуды модуляции. Однако особый интерес представляет случай, когда разностная частота модуляции опорного и объективного пучков сравнима с обратным временем записи голограммы τ : $\Omega = |\omega_1 - \omega_2| \ll \frac{1}{\tau}$. Это соответствует записи на ФРК интерференционной картины, временной период колебаний которой соизмерим с характерным временем τ , тогда выражение (2) сведется к форме

$$A_B(t) = A_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\varphi_1) J_n(\varphi_2) \frac{\exp in \Omega t}{1 + in \Omega \tau} \quad (3)$$

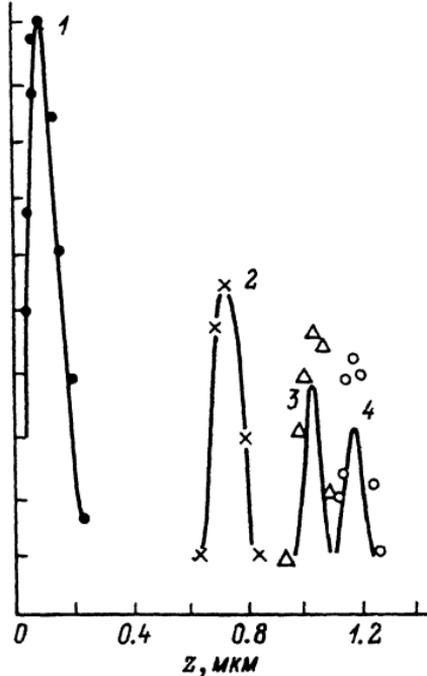


Рис. 1. Зависимость размаха \tilde{J} нормированной переменной составляющей интенсивности восстановленного пучка от амплитуды колебаний зеркала для опорного пучка z_1 , при $\omega_2=240$ Гц, $Q\tau=0.06$ и амплитуда колебаний зеркала для объектного пучка z_2 : 1 - 0.12 мкм, 2 - 0.75 мкм, 3 - 1.05 мкм, 4 - 1.2 мкм. Сплошные линии - расчетные кривые, точки - экспериментальные данные.

Рассчитанная на ЭВМ, согласно выражению (3), интенсивность восстановленного с голограммы пучка представляет собой переменный периодический сигнал с частотой 2Ω , форма которого зависит от параметров φ , ω , τ . Отметим, что в случае равенства амплитуд модуляции φ_1 и φ_2 количество локальных экстремумов на периоде пропорционально амплитуде модуляции.

Экспериментальная проверка приведенных расчетов была осуществлена на фоторефрактивном кристалле титаносилленита ($Bi_{12}TiO_{20}$). Геометрические размеры кристалла составляли $8 \times 4 \times 3$ мм³. Вектор голограммы был параллелен кристаллографической оси $[1\bar{1}0]$, а поляризация записывающих лучей перпендикулярна плоскости падения и совпадала с осью $[001]$. Голограмма записывалась светом He-Ne-лазера с интенсивностью 10^{-1} - 10^{-2} Вт/см². Непрерывное и одновременное с записью считывание голограммы осуществлялось по методу обращения волнового фронта. Записывающие пучки модулировались во времени при помощи зеркал, управляемых электромагнитами. Интенсивность восстановленного пучка регистрировалась при помощи ФЭУ, и сигнал выводился на экран запоминающего осциллографа.

На рис. 1 представлена зависимость размаха \tilde{J} переменной составляющей интенсивности восстановленного пучка на частоте

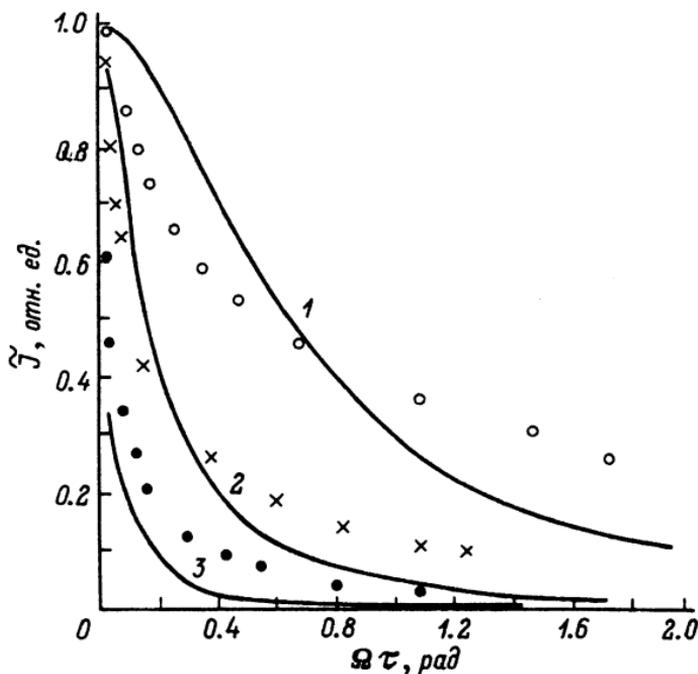


Рис. 2. Зависимость размаха \tilde{J} нормированной переменной составляющей интенсивности восстановленного пучка от параметра $\Omega \tilde{\tau}$ для различных амплитуд модуляции опорного и объектного пучков при условии равенства амплитуд $z_1 = z_2$: 1 - 0.12 мкм; 2 - 0.4 мкм; 3 - 1.6 мкм. Сплошные линии - расчетные кривые, точки - экспериментальные данные.

2Ω от амплитуды колебаний зеркала для опорного пучка z_1 для четырех значений амплитуд колебаний зеркала для объектного пучка z_2 . Величина \tilde{J} нормирована на интенсивность восстановленного пучка в стационарном случае для записи голограммы немодулированными во времени пучками. При нормальном падении опорного и объектного пучков на модулирующее зеркало фазовая модуляция связана с амплитудой колебаний зеркала известным соотношением $\varphi = \frac{4\pi z_1}{\lambda}$, где λ - длина волны записывающего света. Частота колебаний опорного и предметного пучков составляла величину порядка 240 Гц. Характерное время записи $\tilde{\tau} \approx 1$ с, при этом параметр $\Omega \tilde{\tau}$ составлял величину $= 0.06$. Как видно из рисунка, величина размаха переменной составляющей интенсивности восстановленного пучка достигает резкого максимума при совпадении амплитуд модуляции, что позволяет определять амплитуду модуляции одного из пучков, зная амплитуду другого.

Величина максимального размаха уменьшается с увеличением амплитуды модуляции. Однако ее можно увеличить, уменьшая параметр $\Omega \tilde{\tau}$. На рис. 2 представлена зависимость размаха \tilde{J} переменной составляющей интенсивности восстановленного пучка от параметра $\Omega \tilde{\tau}$ для различных амплитуд модуляции опорного и объ-

ектного пучков при условии равенства амплитуд ($Z_1 = Z_2$). Из рисунка видно, что при уменьшении параметра $\Omega\tau$ амплитуда нормированной переменной составляющей \tilde{J} возрастает и стремится к единице.

Сплошными линиями на рисунках представлены расчетные данные, полученные из выражения (3). Различие экспериментальных и расчетных данных может быть объяснено отличием экспериментально измеренного временного отклика титаносилленита на длине волны 0.63 мкм от чисто экспоненциального. Отступление от экспоненциальной зависимости может быть вызвано более сложной, чем двухуровневой, структурой электронных переходов, участвующих в процессе голографической записи в ФРК, а также неоднородностью распределения интенсивности записываемого света в кристалле. В расчетах использовалось усредненное значение τ , полученное экспериментально.

В результате проведенных исследований продемонстрировано возникновение переменной составляющей в зависимости интенсивности восстановленного пучка от времени при модуляции записываемых пучков таким образом, что период колебания их интерференционной картины соизмерим со временем записи голограммы на ФРК. Амплитуда переменной составляющей интенсивности зависит от амплитуды модуляции φ_1, φ_2 и параметра $\Omega\tau$ и достигает своего максимального значения при равенстве амплитуд модуляции в опорном и объектном пучках, что может быть полезно при измерении сравнительно больших амплитуд колебаний объекта.

Л и т е р а т у р а

- [1] M a r r a k s h i A., H u i g n a r d J.O., H e r r i a n J.P. - Opt. Comm., 1980, v. 34, N 1, p. 15-18.
- [2] F i z i a n i H.J. - Opt. Acta, 1982, v. 29, N 4, p. 463-470.
- [3] К а м ш и л и н А.А., М о к р у ш и н а Е.В. - Письма в ЖТФ. 1986, № 12, в. 6, с. 363-369.
- [4] M o h a r a m M.G., G a y b a r d L.K., M a g n u s s o n R. - J. Appl. Phys., 1979, v. 50, N 9, p. 5642-5651.

Куйбышевский государственный
университет

Поступило в Редакцию
1 марта 1988 г.